

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

**NÁVRH MODULÁRNÍ KONSTRUKCE PÁSOVÉHO
PODVOZKU S PROMĚNNOU KINEMATIKOU
RÁMU**

*The Design of Modular Construction Belt Chassis with
Flexible Kinematics of the Frame*

Diplomová práce

Student:

Bc. Marek Studénka

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Kárník, CSc.

OSTRAVA 2010

Zadání DP

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 20. 5. 2010

.....

Bc. Marek Studénka

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Ladislavu Kárníkovi, CSc. za odborné vedení práce, a také všem ostatním vyučujícím katedry robototechniky za vstřícnost a ochotu poskytovat cenné rady a připomínky v průběhu zpracovávání zadaného tématu.

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 20. 5. 2010

.....

Bc. Marek Studénka

Adresa trvalého pobytu:

Mladotické nábřeží 46

763 21, Slavičín, okres Zlín

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE:

Studénka M.: Rozdělení servisních robotů a analýza současného stavu pásových podvozků, konstrukční návrh modulární konstrukce pásového podvozku s proměnnou kinematikou rámu, vypracování sestavného výkresu včetně 3D modelu v CAD systému Pro/Engineer. (Vedoucí DP: Kárník, L.), VŠB-TU Ostrava, katedra robototecniky – 354, 81 stran.

Hlavním cílem diplomové práce je konstrukční návrh modulárního pásového podvozku s proměnnou kinematikou rámu. Součástí návrhu je vypracování tří variant a následný výběr optimální varianty, základní návrhové a pevnostní výpočty vybraných konstrukčních prvků, 3D model celé sestavy v CAD systému Pro/Engineer a sestavný výkres navrhované konstrukce.

Práce dále obsahuje základní rozdělení servisních robotů a ukázkou v současnosti vyráběných typů. Práce se opírá o vyrobený funkční prototyp a zkušenosti, které autor získal při jeho realizaci.

ANNOTATION OF THESIS:

Studénka M.: Dividing of the service robots and analysis of the present state of the belt chassis, engineering design of the construction of the belt chassis with variable kinematics of the frame, drawing up of the composed design including the 3D model in CAD system PRO/Engineer (supervisor of the thesis: Kárník, L.), VŠB-TU Ostrava, Departement of Robotics – 354, 81 pages.

The main purpose of this thesis is the engineering design of the modular belt chassis with variable kinematics of the frame. The draft includes an elaboration of the three versions and following selection of the optimal version, basic drafting and strength calculation of selected structural elements, 3D model of the whole assembly in CAD system PRO/Engineer and a drawn up design of the proposed construction.

The thesis also includes basic dividing of the service robots and demonstration of contemporary produced types. The thesis insists on produced workable prototype and experiences gathered by author during the execution of the prototype.

OBSAH:

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ.....	9
1. ÚVOD.....	11
2. ANALÝZA PROBLEMATIKY	12
2.1. MOBILNÍ SERVISNÍ ROBOT	12
2.2. ROZDĚLENÍ MOBILNÍCH SERVISNÍCH ROBOTŮ	14
2.3. SERVISNÍ ROBOTY S PÁSOVÝM PODVOZKEM	15
2.4. PŘEHLED STÁVAJÍCÍCH KONSTRUKCÍ.....	19
2.4.1. <i>Schodolezy</i>	19
2.4.2. <i>Servisní roboty s pásovým podvozkem</i>	20
2.5. KONSTRUKCE PÁSOVÉHO PODVOZKU VYTVOŘENÁ NA KATEDŘE ROBOTOTECHNIKY VŠB-TUO.....	22
3. KONSTRUKČNÍ NÁVRH PÁSOVÉHO PODVOZKU	24
3.1. POŽADAVKOVÝ LIST	24
3.2. VYTIPOVANÉ SERVISNÍ ÚLOHY.....	24
3.3. NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ	25
3.3.1. <i>Varianta A</i>	26
3.3.2. <i>Varianta B</i>	28
3.3.3. <i>Varianta C</i>	31
4. HODNOCENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY	33
4.1. HODNOTY KRITÉRIÍ	33
4.2. KRITÉRIA ROZHODOVÁNÍ	34
4.1. ZHODNOCENÍ KRITÉRIÍ PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY	34
4.2. STANOVENÍ VÝZNAMNOSTI KRITÉRIÍ	35
4.2.1. <i>Váha významnosti q (metoda trojúhelníku párů)</i>	35
4.2.2. <i>Index změny parametru a vážené indexy</i>	36
4.3. SOUČET VÁŽENÝCH INDEXŮ A STANOVENÍ POŘADÍ VARIANT	37

5. ROZBOR A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VYBRANÉ VARIANTY	38
5.1. PÁSOVÝ PODVOZEK.....	38
5.2. POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ PÁSOVÉHO PODVOZKU	39
5.2.1. <i>Rám podvozku</i>	39
5.2.2. <i>Pohony</i>	44
5.2.3. <i>Otočné rameno</i>	48
5.2.4. <i>Podpěrná kola a pás</i>	51
5.2.5. <i>Boxy a další komponenty</i>	53
5.2.6. <i>Kryty</i>	55
5.3. PRACOVNÍ POLOHY OTOČNÉHO RAMENA	57
5.4. ANALÝZA POHYBU PÁSOVÉHO PODVOZKU	58
5.5. MOŽNÁ VYUŽITÍ A VYLEPŠENÍ	61
6. POKYNY	63
6.1. POKYNY PRO VÝROBU	63
6.2. POKYNY PRO OBSLUHU	63
6.3. POKYNY PRO BEZPEČNOST.....	63
7. TECHNICKÁ ZPRÁVA A VÝPOČTY.....	64
7.1. NÁVRH HNACÍHO POHONU.....	64
7.2. KONTROLA HNACÍHO POHONU	67
7.3. PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH POHONU PRO OTOČNÉ RAMENO.....	69
7.4. NÁVRH POHONU PRO VYROVNÁVACÍ MECHANISMUS.....	72
8. ZÁVĚR.....	74
9. SEZNAM POUŽITÉ LITARATURY A ZDROJŮ	76
10. SEZNAM OBRÁZKŮ	79
11. SEZNAM TABULEK.....	80
12. PŘÍLOHY.....	81

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Značka	Význam	Jednotka
ϑ	Součinitel rotačních částí	[-]
a	Zrychlení	[m s ⁻²]
b	Vzdálenost mezi hnacím a zadním kolem	[m]
c	Vzdálenost mezi pístem a silou zátěže	[m]
d	Vzdálenost těžiště výklopn. rámu od osy otáčení	[m]
e	Vzdálenost působení pístu od osy otáčení	[m]
F_a	Odpor způsobený setrvačností posuvných hmot	[N]
F_A	Síla v podpoře A	[N]
F_C	Celková síla pro pohyb podvozku	[N]
F_{CP}	Síla působící na konci ramene	[N]
F_f	Síla zahrnující třecí odpory	[N]
F_{GP}	Tíhová síla podvozku	[N]
F_M	Síla pro vyklopení středové části	[N]
F_M'	Síla lineárního pohonu	[N]
F_N	Normálová síla	[N]
F_S	Odpor způsobený setrvačností rotačních hmot	[N]
F_W	síla potřebná k překonání výškového rozdílu	[N]
F_Z	Zatěžující síla	[N]
g	Gravitační zrychlení	[m s ⁻²]
G_{VR}	Tíha výklopného rámu	[N]
i	Převodový poměr	[-]
$J_{M \rightarrow R}$	Moment setrvačnosti vztažený přes př. k rameni	[kg m ²]
$J_{M \rightarrow K}$	Moment setrvačnosti vztažený přes převodovku k hnacímu kolu	[kg m ²]
J_C	Celkový moment setrvačnosti	[kg m ²]
J_{C2}	Celkový dvojnásobný moment setrvačnosti	[kg m ²]
J_K	Moment setrvačnosti hnacího kola	[kg m ²]
J_M	Moment setrvačnosti motoru	[kg m ²]
J_P	Moment setrvačnosti převodovky	[kg m ²]
J_R	Moment setrvačnosti otočného ramene	[kg m ²]
k_B	Koeficient bezpečnosti	[kg m ²]

m	Hmotnost podvozku	[kg]
M	Krouticí moment	[Nm]
M_{CONST}	Krouticí moment konstantní	[Nm]
m_k	Hmotnost hnacího kola	[kg]
M_K	Požadovaný krouticí moment hnacího pohonu	[Nm]
M_{KM}	Nominální krouticí moment motoru ramene	[Nm]
M_{KR}	Krouticí moment pro nadzvednutí podvozku	[Nm]
M_{KR}'	Krouticí moment pohonu ramene	[Nm]
M_{KRI}	Krouticí moment ramene při pouhém otáčení	[Nm]
m_M	Hmotnost motoru	[kg]
M_{MAX}	Maximální krouticí moment	[Nm]
M_{NOM}	Nominální krouticí moment	[Nm]
m_{OM}	Hmotnost zátěže	[kg]
m_P	Hmotnost převodovky	[kg]
m_{VR}	Hmotnost výklopného rámu	[kg]
n	Otáčky motoru	[min ⁻¹]
P	Výkon motoru	[W]
P_m	Předběžný výkon pro pohyb podvozku	[W]
P_m	Výkon hnacího pohonu	[W]
P_m'	Výkon pro pohyb podvozku rozšíření o k_B	[W]
P_{m2}	Výkon pro pohyb podvozku	[W]
P_{m3}	Výkon pro hnací pohon	[W]
r_k	Poloměr hnacího kola	[m]
r_R	Délka otočného ramene	[m]
t_r	Čas rozběhu	[s]
U	Napětí	[V]
v	Rychlost pohybu	[m s ⁻¹]
α	Sklon jízdní dráhy	[°]
ε	Úhlové zrychlení	[rad s ⁻²]
η_C	celková účinnost pohonu	[%]
η_M	Účinnost motoru	[%]
η_P	Účinnost převodovky	[%]
μ	Trakční součinitel tření	[-]
ω	Úhlová rychlost	[rad s ⁻¹]

1. ÚVOD

Trendem v posledních několika letech je neustálý rozvoj mobilní servisní robotiky. Vlivem zvyšujících se požadavků na bezpečnost personálu a obsluhy v různých odvětvích jako je např. armáda, policie, jaderná energetika, a vlivem neustále rostoucích požadavků na zkvalitnění služeb v oblastech stavebnictví, lékařství, zemědělství a jiných, se neustále vyvíjí nové a dokonalejší systémy mobilních robotů. Jejich úkolem je usnadnění práce, v mnoha případech také zmenšení rizik a zvýšení pracovních možností.

Snaha je o vytvoření kompaktního funkčního celku, který se bude specializovat jen na určitou danou problematiku, se zajištěním jednoduché a vhodné koncepce robotu pro předem daný úkol. Je nežádoucí, aby byl servisní robot podobný člověku s možnostmi pohybu lidského těla, „umělou inteligencí“ a příliš vysokými náklady na výrobu a vývoj.

V dnešní době je této problematice věnována již plná pozornost, protože rozvoj mobilní servisní robotiky nám ukazuje a nabízí množství nových možností jak lépe chránit životy a usnadňovat složitou práci v různých oblastech.

Nedílnou součástí většiny mobilních robotů je podvozek, který umožňuje pohyb servisního zařízení. Je to nosná část pro případné manipulační nadstavby, senzorická a jiná vybavení umístěná a potřebná pro specifické činnosti robotů.

Téma diplomové práce je „Návrh modulární konstrukce pásového podvozku s proměnnou kinematikou rámu“. Diplomová práce je zaměřena na konstrukci pásového podvozku. Jedná se o podvozek, který by se za pomoci operátora, pracovníka proškoleného pro ovládání podvozku, byl schopen pohybovat ve vnějším i v nitřním prostředí, za pomoci vizuálního a senzorického subsystému.

Cílem diplomové práce je navrhnout takový pásový podvozek, který bude zvládat překonávání překážek a schodů, za pomoci proměnné kinematiky pásu a bude schopen autonomně vyrovnávat manipulační nadstavbu. Cílem je i rozšířit řady pásových podvozků s proměnnou kinematikou rámu a pásů.

2. ANALÝZA PROBLEMATIKY

Na začátku je vhodné ujasnit si pojem mobilní servisní robot. Pod pojmem mobilní si představíme takový robot, který má umožněn přesun z místa na místo a liší se tak od stacionárních robotů využívaných především v průmyslové výrobě. Díky své mobilitě je pak robot vhodný především pro specifické úlohy, které můžeme nazvat jako servisní činnosti.

Pojem servisní robot pak můžeme vysvětlit jako kinematické zařízení, které vykonává servisní činnosti s určitým stupněm autonomního chování. Servisní činnost je pak taková činnost, při které se nejedná čistě o průmyslovou výrobu produktů, ale přispívá k vykonávání práce užitečné jak pro člověka, tak pro ostatní technická zařízení. [11]

Servisní činnost (úlohu) lze jednoduše rozdělit na úlohy:

- ⇒ Technologické (diagnostika, údržba, čištění,...)
- ⇒ Netechnologické (transport, manipulace, vyhledávání, uchopení,...)
- ⇒ Pomocné (pomocné úkoly, sběr informací, přidržení, analýza,...)
- ⇒ Osobní (úklid, výuka, zábava ve volném čase,...) [1]

2.1. MOBILNÍ SERVISNÍ ROBOT

Každý mobilní servisní robot je ve své podstatě unikátní zařízení, které je od samého začátku určeno a konstruováno pro speciální použití. V moci konstruktéra není možné vytvořit jediné zařízení, které by bylo schopno plně vyhovovat všem požadavkům kladených na zařízení z různých odvětví či prostředí, kde je možnost uplatnění. Každá servisní úloha má značné požadavky na velikost a tvar podvozku, způsob pohybu, druh použité energie, manipulační možnosti, hmotnost, nosnost atd. [1]

Obecné rozdělení mobilních robotů je na autonomní a dálkově ovládané zařízení. Za autonomní robot je považován takový robot, který na základě určených požadavků samostatně vykoná danou úlohu. Říkáme, že se jedná o prvky umělé inteligence, kdy je schopen pohybovat se v pozmeněném či úplně cizím prostředí, překonávat či vyhýbat se různým druhům překážek, a to vše bez zásahu obsluhy. Pojem „umělá inteligence“ nebyl

doposud přesně definován. V dnešní době můžeme říci, že se zatím jedná jen o chování na základě vytvořeného algoritmu (programu) a „umělá inteligence“ je hudba budoucnosti. [11]

Oproti tomu stojí dálkově ovládané zařízení, které je nutno navádět, a vykonává jen operace dané obsluhou (operátorem). V současnosti se předávají povely pomocí klávesnice počítače, dálkového ovladače, joysticku či třeba brýlí a rukavic pro virtuální realitu. Na následujícím obrázku jsou ukázány některé možné ovládací prvky. [11]



Obr. 1. Dálkový ovladač a virtuální brýle pro řízení mobilního robota [16,17]

Dle průzkumu současných vyráběných konstrukcí lze říci, že většina mobilních servisních robotů se skládá z částí, které jsou typické pro většinu konstrukcí. Skládají se z následujících částí:

- ⇒ *Podvozek* (konstrukční prvek sloužící pro realizaci mobility – nosný rám, pohybové mechanismy,...)
- ⇒ *Vnější senzory* (senzory pro získávání podnětů z okolí slouží k usnadnění realizované servisní úlohy – sonar, taktilní senzor,...)
- ⇒ *Vnitřní senzory* (senzory pro monitorování vnitřních funkcí a parametrů – teploměr, sklonoměr, otáčkoměr,...)
- ⇒ *Řízení* (hardwarová a softwarová výbava robota – řídicí jednotka, ovládací program, přenos signálu,...)
- ⇒ *Pohony* (konstrukční uzel vlastních pohonných jednotek – motor, převodovka,...)
- ⇒ *Zdroj energie* (rozvody elektrické energie, vlastní zdroj – akumulátor, cizí zdroj – pomocí kabelu, záložní zdroj,...)

- ⇒ *Karoserie* (konstrukční část určená pro krytování všech výše zmíněných částí, ochrana před prachem, vlhkostí, nepovoleným zásahem třetích osob, tepelná ochrana,...) [1]

Servisní roboty nacházejí stále větší uplatnění především v nevýrobních a nestrojírenských oblastech. Podílí se na realizaci všech druhů servisních úloh a usnadňují tak činnosti, které by jinak musel složitě a mnohdy i v nebezpečném prostředí vykonávat člověk. [1]

2.2. ROZDĚLENÍ MOBILNÍCH SERVISNÍCH ROBOTŮ

Servisní roboty lze dělit podle prostředí, ve kterém se pohybují, způsobu pohybu nebo možnosti využití, podle druhu podvozku, způsobu řízení a dalších hledisek.

Dělení podle prostředí:

- ⇒ servisní roboty se dělí na využití ve venkovním (outdoor) nebo ve vnitřním (indoor) prostředí. [1]
- ⇒ Další dělení podle prostředí, ve kterém operují:
- Na souši
 - Ve vodě (případně na vodě)
 - Ve vzduchu
 - Ve vesmírném prostředí

Samozřejmě je možná i kombinace výše uvedených prostředí. Roboty se mohou například pohybovat jak po souši, tak ve vodě. V tomto případě by se jednalo o obojživelné zařízení či zařízení založené na principu vznášedel. [11]

Dělení podle způsobu pohybu:

- ⇒ **Umělé soustavy** (byly uměle vytvořeny a tvoří převážnou část v oblasti servisní robotiky)

- Kolové
 - Pásové
 - Hybridní (jsou tvořeny kombinací kolových a pásových)
- ⇒ **Biomechanické soustavy** (vycházejí z pozorování a napodobování pohybů v přírodě)
- Kráčející
 - Skákající a kulhavé
 - Plazivé
 - Šplhající
- ⇒ **Ostatní soustavy**
- Létaající
 - Plovoucí
- (létaající a plovoucí se mohou vyskytovat i v podobě biomechanických soustav – napodobeniny ptáků, hmyzu, ryb,...) [1]

Diplomová práce je zaměřena na umělé pásové soustavy, proto budou v další podkapitole podrobněji popsány servisní roboty s pásovým podvozkem.

2.3. SERVISNÍ ROBOTY S PÁSOVÝM PODVOZKEM

Servisní roboty s pásovým podvozkem zaznamenaly v posledních několika letech značný vzestup a možnost širokého upotřebení, a to převážně v nestrojírenských oblastech. Jejich nasazení je možné jak ve venkovním, tak i vnitřním prostředí. Podvozky jsou vhodné k překonávání větších terénních překážek a nerovností a vyznačují se svou stabilitou a únosností při použití v těžkém a náročném terénu. [1]

Pásové podvozky jsou řízeny smykem, což umožňuje pohyb ve složitě členitém a náročném terénu, avšak může způsobovat potíže při pohybu na rovném a tvrdém podkladu. Převážně konstrukce s větší hmotností pak nepříznivě působí na pás, kde vznikají vedlejší reakce a dochází k většímu namáhání pásů (v případě pryžových pásů k jejich rychlejšímu opotřebení). Co se dále týká řízení tohoto typu podvozku, je značně nepřesné pro aplikaci autonomního řízení, proto se zde ve většině případů vyskytuje

ovládání na dálku operátorem. Rozvor mezi pásy a délka styku pásu s povrchem má přímý vliv na manévrovatelnost lokomočního ústrojí. [1]

Většina konstrukcí pásových podvozků je vyvíjena za použití elektropohonů a zdroje elektrické energie v podobě akumulátoru, který je umístěn přímo na podvozku. Ke konstrukci rámu, kol, hnacích řemenic, pásů a dalších součástí se používají různé materiály. Uspořádání a velikost kol a řemenice závisí na velikosti podvozku, prostředí, pro které je navrhován, a podle hmotnosti, kterou bude převážet. Na následujícím obrázku je ukázána jednoduchá konstrukce takového pásového podvozku.



Obr. 2. Jednoduchá konstrukce pásového lokomočního ústrojí [18]

Uplatnění těchto servisních robotů je značné, z hlediska využití v nestrojírenských oblastech pak stojí za zmínku například tato:

- ⇒ *Armádní využití* – v nejrůznějších podmínkách jako nosiče zbraní a zásobovacího materiálu, při odminovávání a průzkumu nepřátelského území a další
- ⇒ *Využití v policejních složkách* – při boji s terorizmem či průzkumu a odstraňování výbušnin
- ⇒ *Stavebnictví* – bourací a odklízecí práce, hrubá stavba, dopravní stavitelství, vodní stavitelství, ...
- ⇒ *Zemědělství a lesnictví* – sázení a sklizeň plodin, těžba dřeva a následná manipulace, rekultivace terénu
- ⇒ *Těžba nerostných surovin a práce v zamořeném prostředí*

- ⇒ *Monitoring a údržba* - prováděno v těžko dostupných místech (močály, potrubí, kanalizace) a další rozmanitá manipulační činnost
- ⇒ *Zdravotní péče, záchranné práce* (v případě lavinového zásypu či zřícení budov)
- ⇒ *a další* [1]

Podle možnosti využití v různých prostředích lze dále roboty rozdělit na aplikace:

- ⇒ pro zastavěné městské části (monitoring, transport a vyhledávání výbušnin, ochrana životů, manipulační činnost,...)
- ⇒ pro zamořené a pro člověka nebezpečné prostředí
- ⇒ pro pohyb v úzkých a malých chodbách (ventilace, údržbové a klimatizační šachty)
- ⇒ pro pohyb v kanalizačním a potrubním systému
- ⇒ pro vesmírný prostor
- ⇒ další aplikace.

Konstrukční provedení pásových podvozků jsou rozmanité, mají různý tvar pásů dle typu servisní úlohy, pro kterou jsou navrhovány. Jsou i takové, kde jdou dva hlavní pásy, sloužící pro pohyb po rovném terénu, a dva kratší přídatné pásy, které díky změně kinematiky mohou usnadnit pohyb přes překážky nebo nájezd např. na schodiště. Dále se vyskytují konstrukce, kde se v průběhu pohybu mění geometrický tvar opásání. Podvozek má pak lepší možnosti při najíždění na schodiště, lépe překonává nerovnosti terénu a snáze najíždí i na větší překážky. [1]

Pokud není podvozek doplněn o přídatné pásy nebo nemá proměnnou geometrii pásů, může docházet k nežádoucím rázům nebo není vůbec schopen překonat některé překážky a může tak ohrozit stabilitu například předmětu, se kterým je manipulováno. K omezení rázů a chvění se používá i pogumování a odpružení kol (hnací kolo s ozubením na vnější straně nemůže být takto upraveno). [1]

Při návrhu pásového podvozku je třeba brát v úvahu různé konstrukční požadavky, které se mohou lišit dle účelu, pro který je podvozek navrhován. Některé možné kladené požadavky na konstrukci jsou:

- ⇒ minimalizace hlučnosti pásového podvozku
- ⇒ minimalizace hmotnosti pásového podvozku
- ⇒ délka podvozku a délka kontaktu pásu s terénem
- ⇒ minimalizovat šířku pásového podvozku z hlediska průjezdnosti dveřmi
- ⇒ s ohledem na konkrétní aplikaci zvolit vhodný typ pásů
- ⇒ zajistit stálou napnutost pásu za pomoci napínání
- ⇒ odolnost pásového podvozku proti chemickým či bojovým prostředkům
- ⇒ odolnost pásového podvozku proti radiaci
- ⇒ odolnost pásového podvozku proti vyšším teplotám (např. nad 100°C)
- ⇒ zvýšit nosnost pásového podvozku s ohledem na aplikaci
- ⇒ možné odpružení kol pásového podvozku
- ⇒ velikost překážek a terénních nerovností, které může pásový podvozek překonávat
- ⇒ možná změna kinematiky pásů
- ⇒ stabilita pásového podvozku či objektu manipulace při jízdě a v klidovém stavu
- ⇒ maximalizovat délku provozu pásového podvozku na jedno nabití baterií
- ⇒ a další možné požadavky [1]

V následující podkapitole je ukázáno několik málo existujících konstrukčních řešení schodolezů a servisních robotů s pásovým lokomočním ústrojím.

2.4. PŘEHLED STÁVAJÍCÍCH KONSTRUKCÍ

Vývoj servisních robotů s pásovým podvozkem určených pro různé servisní činnosti je rozsáhlý. Používají se i pro přepravu osob a materiálu u zařízení, která jsou přímo doprovázena obsluhou, a nazýváme je schodolezy. Další zařízení jsou využita v nejrůznějších odvětvích pro manipulační úkoly, technologické úkoly a další. Do budoucna předpokládám značný rozvoj a uplatnění v mnoha oblastech.

2.4.1. Schodolezy

Jedná se o mobilní zařízení určené pro snadné zdolávání schodů nebo svahů za pomoci obsluhy. Je to pásový podvozek bez autonomního chování. Používají se na transport osob nebo těžkých předmětů. Na následujícím obrázku je ukázán schodolez pro přepravu imobilních osob na invalidním vozíku.



Obr. 3. Pásový schodolez určený pro přepravu lidí [34]

Dále je uveden schodolez sloužící pro přepravu těžkých předmětů a zařízení a využíváný ve velké míře při stěhování a přemísťování předmětů po schodištích. Schodolez s názvem „Pianoplan“ také zajišťuje přepravu ve vodorovné poloze za pomoci hydraulických pístů. Hydraulický agregát a zdroj elektrické energie si nese s sebou.



Obr. 4. Pásový schodolez pro přepravu předmětů do hmotnosti 600 kg [35]

2.4.2. Servisní roboty s pásovým podvozkem

Pásových podvozků vyráběných s různými typy pásů existuje celá řada. Pro představu vyberu jen několik robotů jako ukázkou možného konstrukčního řešení.

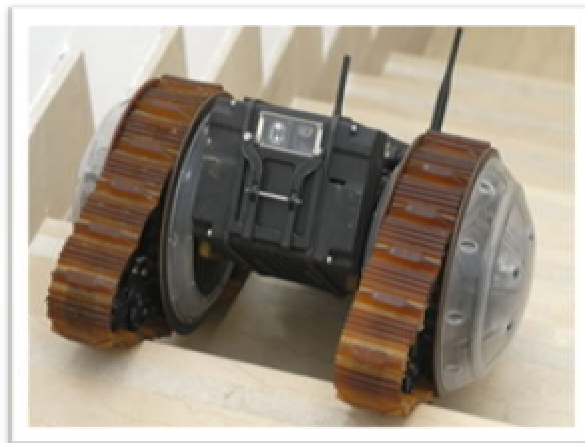
Jako první je na obrázku Obr. 5. zobrazen podvozek s dvěma hlavními pásy a čtyřmi přídavnými pro úplnou změnu kinematiky rámu. Tento podvozek má dobré schopnosti pohybu v náročném složitém terénu a jeho možnost využití je například pro monitorování a průzkum nepřátelského území.



Obr. 5. Pásový podvozek s proměnnou kinematikou rámu [19]

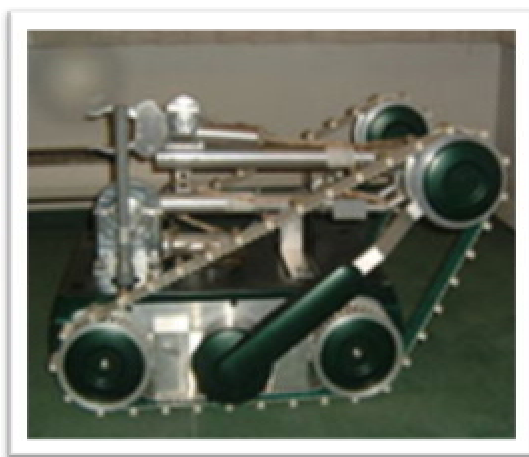
Na obrázku (Obr. 6.) je ukázkou robotu sloužícího pro průzkum opět s proměnnou kinematikou pásu. Jedná se o dvoukolový robot, kde kolo je opatřeno pryžovým pásem a

v případě potřeby dojde k rozložení speciální konstrukce a dojde ke zvětšení délky pásu, která je v kontaktu s terénem.



Obr. 6. Pásový podvozek s proměnnou kinematikou pásu [37]

Na následujících dvou obrázcích (Obr.7, Obr.8.) jsou konstrukce servisních robotů, kde dochází ke změně geometrie pásu. Tyto konstrukce jsou používány pro manipulační činnosti například při odstraňování výbušnin nebo transportu nebezpečných předmětů. Roboty jsou vybaveny senzory a kamerovým systémem.



Obr. 7. a Obr. 8. Pásové podvozky s proměnnou kinematikou rámu [36, 20]

Existuje celá řada podobných konstrukcí, v této práci je věnována pozornost především těm, které zvládají zdolávání překážek schodišťového typu, či překonání vyšší skokové překážky jako je obrubník u chodníku. Další vlastností konstrukcí pak je vzhledem k zadání proměnná kinematika rámu a tím následné usnadnění pohybu.

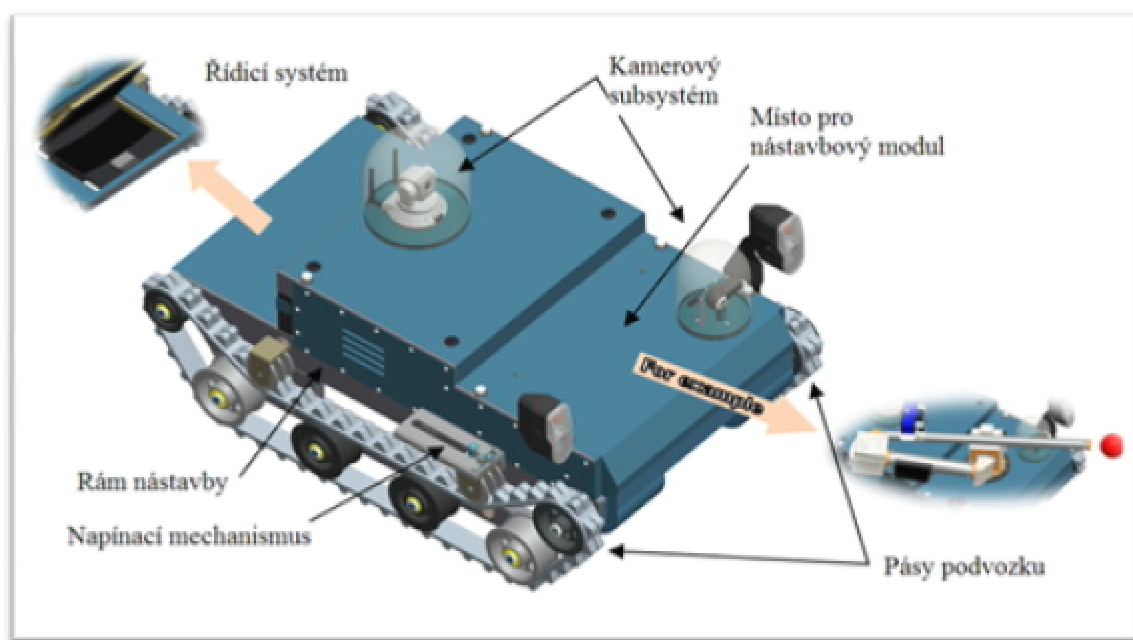
2.5. KONSTRUKCE PÁSOVÉHO PODVOZKU VYTVOŘENÁ NA KATEDŘE ROBOTOTECHNIKY VŠB-TUO

Na katedře robototechniky Vysoké školy Báňské technické univerzity Ostrava byla vytvořena konstrukce pásového lokomočního ústrojí, na které jsem se pod vedením Ing. Ladislava Kárníka, CSC podílel. Byl vytvořen model konstrukce a následně funkční celek, na kterém bude umístěna manipulační nástavba.

Servisní robot je určen jako studijní pomůcka, která bude schopna plnit manipulační úlohy, získávat a zpracovávat metrické 3D informace v reálném čase včetně provádění monitorování, přepravu ve vnitřním i vnějším prostředí apod. Dále se na podvozku budou provádět zkoušky různého senzorkého vybavení, bezdrátového řízení, přenosu dat, bude testován výkonový subsystém a další.

Tvar konstrukce, možnost zdolávání schodišť a terénních nerovností, rychlost pohybu a další charakteristiky lokomočního ústrojí vycházejí z požadavků na servisní roboty pro aplikace v městském prostředí.

Na obrázku Obr. 9. je zobrazen model navržené konstrukce doplněný o model manipulační nástavby.



Obr. 9. Pásový podvozek vyrobený na VŠB-TUO

Lokomoční ústrojí je konstrukčně připraveno na již vyrobený nastavbový modul. Konstrukce rámu byla řešena jako modulární, aby šlo snadno zajistit rychlou výměnu a tím umožnit změnu konstrukce a rozšířit tak lehce řady servisních úloh pro lokomoční ústrojí.

Pásové lokomoční ústrojí bylo navrženo se dvěma hlavními pásy a je řízeno smykem. Vzhledem ke koncepci pásového subsystému a účelům, pro které bude podvozek využíván, jsou jeho základní šířkové rozměry omezeny požadavkem na průjezdnost dveřmi o šířce 800 mm. 748 mm, což je maximální šířka podvozku, bylo shledáno jako dostatečná míra pro bezproblémové zvládnutí výše zmíněného požadavku. Na povozku jsou použity pryžové pásy, na které bylo vulkanizováno ozubení. Tyto pásy se běžně dodávají pro schodolezy, které pomáhají invalidním osobám zdolávat schody a nerovnostní překážky. Podvozek je navržen jako neodpružený.

K pohonu celého zařízení jsou použity dva stejnosměrné 24V motory se šnekovou převodovkou od firmy VARVEL. Tyto pohonné jednotky jsou umístěny v rámu lokomočního ústrojí. Rám z tenkostěnných svařovaných profilů opatřených povrchovou úpravou v podobě žárového zinkování představuje nosnou část celého podvozku. Tato část je pak proti vlhkosti a prašnosti zabezpečena celkovým krytváním konstrukce. V plánu je provést testy, kdy bude servisní robot vykonávat úlohy i za nepříznivého počasí jako je déšť či sněžení.

Na modelu pásového podvozku byly při návrhu postupně prováděny kinematické analýzy a pevnostní analýzy vybraných konstrukčních uzlů. Bylo nutné po provedení analýz a na základě získaných výsledků udělat konstrukční opatření a optimalizovat tak některé rozměry součástí. Veškeré pevnostní výpočty jsem provedl v modulu *Pro/MECHANICA Structure*, který je součástí programu *Pro/ENGINEER*. [13,14,15]

3. KONSTRUKČNÍ NÁVRH PÁSOVÉHO PODVOZKU

3.1. POŽADAVKOVÝ LIST

- Průjezdna šířka podvozku minimálně 800 mm
- Jízda po schodišti
- Nosnost podvozku cca 50 kg
- Překonání překážky o výšce 250 mm
- Maximální sklon nerovnosti nebo schodiště max. 35°
- Provoz ve venkovním prostředí (odolnost proti vlhkosti a prašnosti)
- Minimalizace hmotnosti pásového podvozku
- Použití stávajících pásů (možná délková modifikace pásu na 2700 mm nebo 3000 mm)
- Automatické vyrovnávání do vodorovné polohy pro manipulační nastavbu
- Nízká hlučnost pásového podvozku
- Není požadováno a blíže specifikováno odpružení podpěrných kol pásového podvozku
- Dobrá stabilita podvozku při jízdě a v klidové poloze
- Možnost využití stávajících komponentů při návrhu (pohony, baterie apod.)
- Koncepce rámu jako modulární
- Minimální doba provozu na jedno nabití baterií cca 1 hodinu
- Rychlost pohybu robotu 3 km/hod.
- Možnost dekontaminace

3.2. VYTIPOVANÉ SERVISNÍ ÚLOHY

Po sestavení seznamu požadavků kladených na konstrukci považuji za vhodné vytipovat alespoň základní možné činnosti pro navrhované lokomoční ústrojí. Předem bylo dohodnuto, že se bude jednat o konstrukci pro aplikace vykonávané v městském prostředí. Pod tímto pojmem se rozumí zdolávat běžné překážky objevující se v těchto podmínkách, jako jsou schody, okraje chodníků, drobné terénní nerovnosti a převýšení,

například v parcích a jiných veřejných místech. Samozřejmě se předpokládá, že bude podvozek doplněn vhodným nastavbovým modulem.

Vytipované servisní úlohy:

⇒ Manipulační

- Odběr pevných vzorků
- Odběr kapalných a plyných vzorků a uložení do případných zásobníků
- Transport nebezpečného materiálu
- Manipulace se zbraňovými systémy
- Manipulace s trhavinami
- a další

⇒ Technologické

- Značení objektů v zamořeném prostředí
- Zneškodnění výbušnin nebo jiné látky například rozstřelem, přestřihnutím kabelu
- Použití vrtací soupravy
- Vyprošťování předmětů, případně lidí v nebezpečném prostředí
- a další

⇒ Netechnologické

- Monitorování při zásahových akcích
- Monitorování v nebezpečném prostředí
- Sběr informací a dat
- Vyhodnocování na základě naměřených údajů a případné upozornění obsluhy
- a další

3.3. NÁVRH VARIANT ŘEŠENÍ

Před začátkem konstrukčních prací je výhodné provést předběžný návrh několika koncepčních variant. Varianty jsou navrženy na základě získaných poznatků z průzkumu

aktuálního trhu, obdobných konkurenčních výrobků, ze zkušeností konstruktéra a z poznatků jiných oslovených odborníků. Byly vypracovány tři varianty možného řešení konstrukce pásového podvozku. V následujícím textu bude každá varianta blíže popsána a vhodným způsobem znázorněna.

3.3.1. Varianta A

Tato konstrukční varianta se skládá z hlavního svařovaného rámu z tenkostěnných profilů. Nosný rám je opatřen po bocích dvěma pryžovými pásy. Každý z pásů, může měnit svoji geometrii pomocí dvou otočných ramen. Ramena, na jejichž konci leží menší vodící kola, jsou umístěna na podvozku dle obrázku Obr. 10. Díky jejich možnosti měnit geometrii pásu podvozek snáze překonává terénní nerovnosti a překážky.

Ramena jsou umístěna jak vpředu, tak vzadu, díky čemuž je možnost překonávat překážky na obě strany stejná. Avšak nastává zde problém s napínáním pásů. Aby bylo možné otáčení s rameny, je potřeba navrhnout automatické dopínání s poměrně velkým rozsahem.

Další část rámu je řešena modulárně pro možnost případné jednoduché výměny nastavbové části. Uchycení je za pomoci 4 šroubů. Tato část je také vyrobena ze svařovaných tenkostěnných profilů. Pomocí dvou lineárních pohonů je řešeno naklápění a vyrovnavání vrchní části pod přípravou manipulační nástavby robotu. Naklápění je jen v jedné ose, proto při jízdě po vrstevnici terénního stoupání není možné ustavit manipulátor do vodorovné polohy. Princip vyrovnavání je obdobný jako dětská houpačka, kdy pohyb vykonávají pohony na základě údajů získaných ze sklonoměru.

Na obrázku Obr. 10. je zachycen 3D model varianty „A“ pro dokreslení představy navrhované varianty.

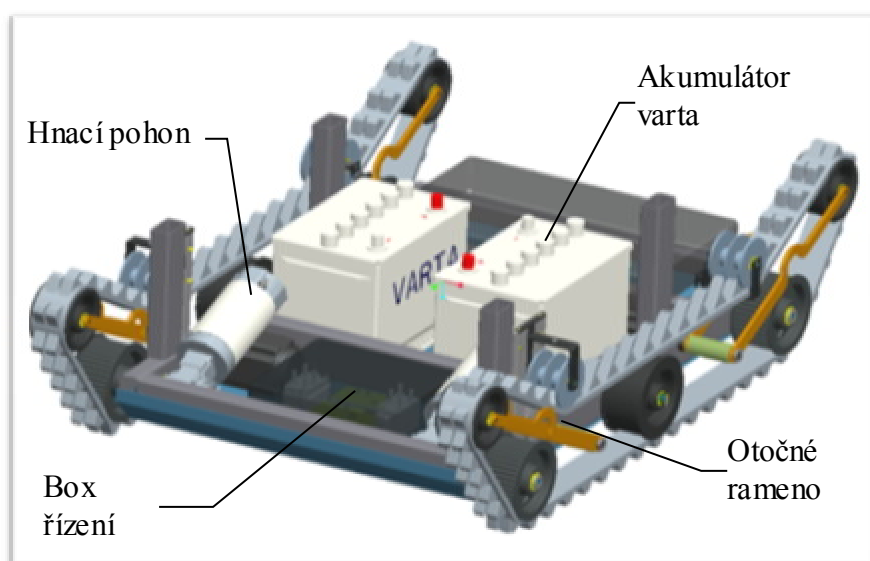
Základní parametry podvozku:

- Výška x Šířka x Délka: 390 x 716 x 1044 [mm]
- Hmotnost: cca 135 kg
- Nosnost: 50 kg



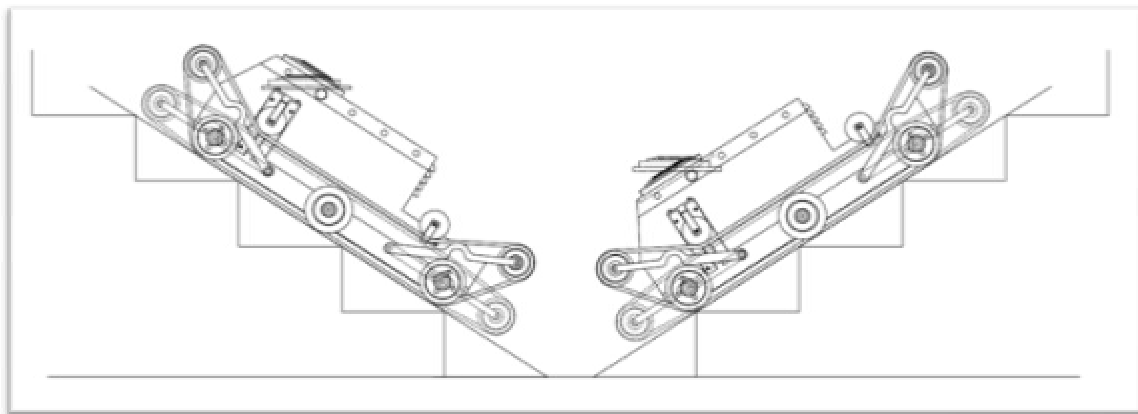
Obr. 10. Varianta „A“ pásového podvozku

V hlavním rámu (Obr. 11.) je uložen a přichycen výkonový subsystém, umístěny dva 12V elektrické akumulátory, uložen řídicí systém a další potřebné komponenty pro bezpečný chod robotu. Zařízení rovněž obsahuje centrální „STOP“ tlačítko posazené na vnějším krytu robotu.



Obr. 11. Varianta „A“ spodní část pásového podvozku

Dále byly provedeny kinematické analýzy. Na dalším obrázku (Obr. 12.) je ukázána jízda pásového podvozku směrem do schodů a ze schodů. Jsou také naznačeny možné polohy pásu a manipulační nástavby při vodorovné poloze.



Obr. 12. *Varianta „A“ kinematické analýzy pásového podvozku*

Lokomoční ústrojí je třeba dále doplnit o senzorický subsystém a vizuální subsystém. V zadní snížené části je pak prostor pro případné reklanzační stanice, sloužící k zesílení signálu, které by si mohl robot vézt se sebou.

3.3.2. Varianta B

Další konstrukční varianta se také skládá z dvou základních částí rámu. Hlavní rám je z tenkostěnných svařovaných profilů. K nosnému rámu jsou po bocích uchyceny dva pryžové pásy. Každý pás je poháněn za pomoci hnacího kola, podepřen čtyřmi podpůrnými koly a jedno kolo je na pohyblivém rameni. Díky ramenu, které má možnost otočení v rozsahu 240° , dochází ke změně kinematiky pásu. Je tak umožněno jednodušší přejíždění nerovností a vyšších skokových překážek. Napínání je jednoduše upevněno na pohyblivém ramenu. Je potřeba dořešit automatické dopínání, neboť při poloze ramena kolmo k vodorovné ose musí dojít k mechanickému stlačení ramena, aby nedošlo k roztržení pásu.

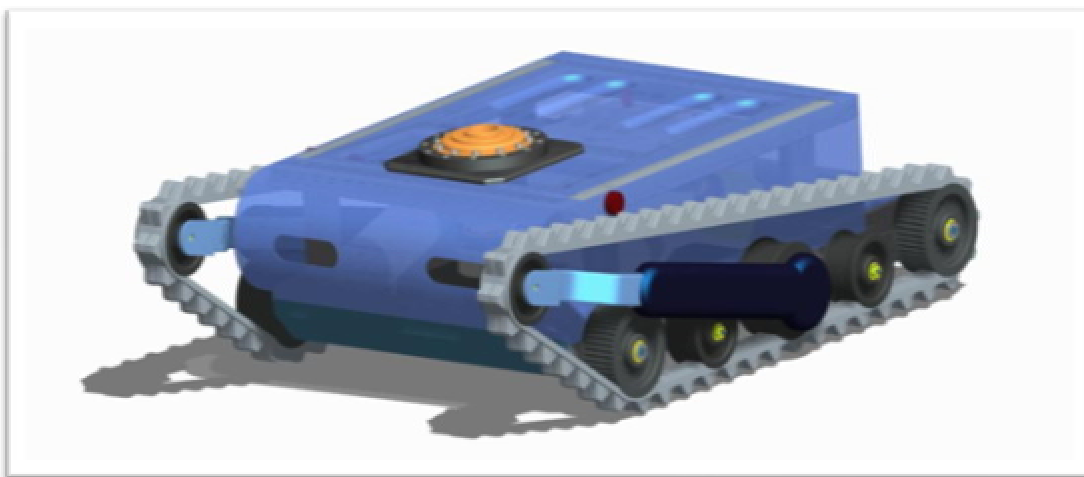
Jako modulární část je řešena horní část rámu. Ta je vyrobena ze svařovaných tenkostěnných profilů. Vyrovnávání nástavby zajišťuje lineární kuličkový pohon. Změna

polohy může být prováděna pouze v jednom směru, takže například při sjezdu ze schodů a požadavku na vodorovnou polohu manipulační části, musí robot sestupovat pouze jedním směrem, a to pozadu. Toto omezení však nemá vliv na funkčnost pásového podvozku.

Podvozek je krytován, aby odolal vodě a prachu i při jízdě v náročnějších podmínkách. Na obrázku Obr. 13. je zobrazen 3D model varianty „B“.

Základní parametry podvozku:

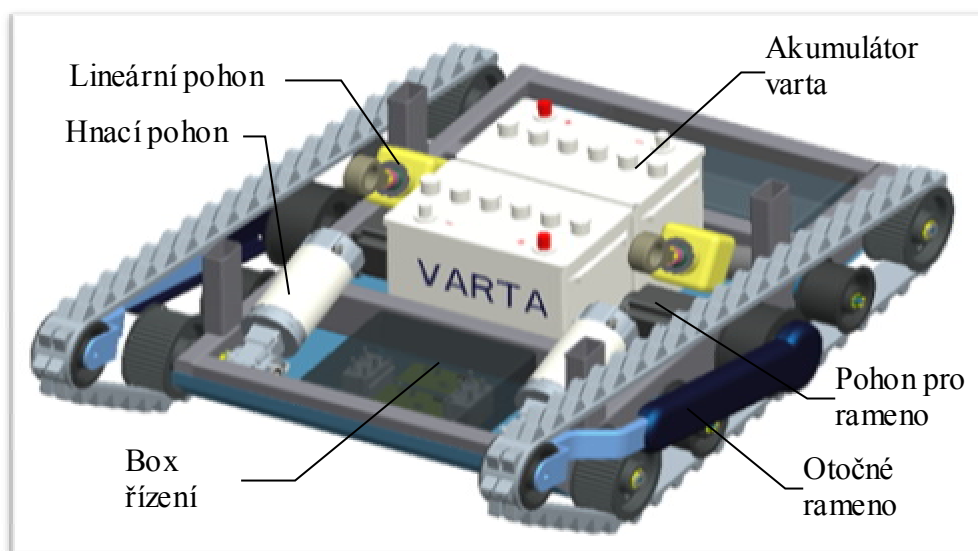
- Výška x Šířka x Délka: 318 x 746 x 1090 [mm]
- Hmotnost: cca 123 kg
- Nosnost: 50 kg



Obr. 13. Varianta „B“ pásového podvozku

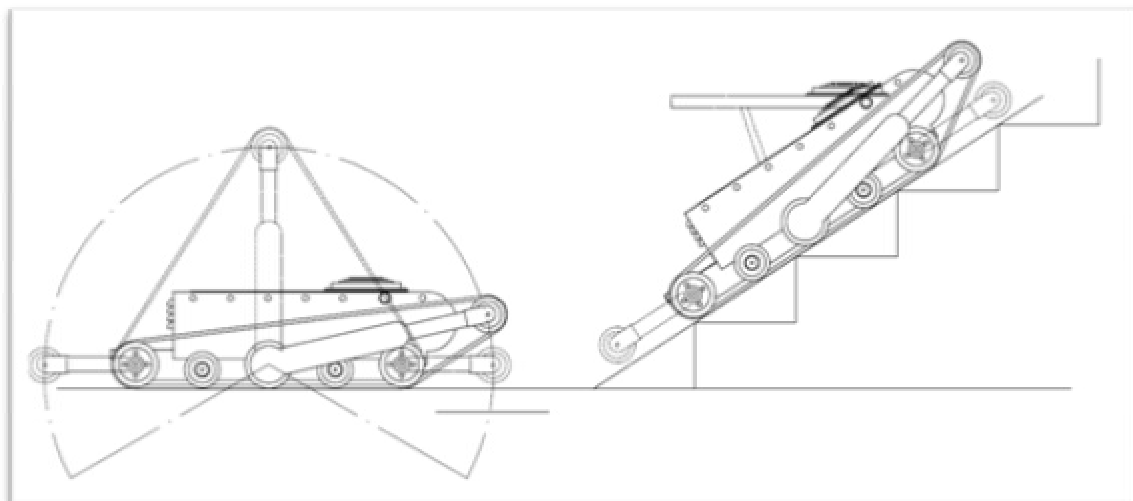
Jak je patrné z obrázku, tato varianta může vhodně měnit úhel pásu při nájezdu a překonávání překážky.

Na obrázku Obr. 14. je hlavní rám. Ten nese snadno vyjímatelné zdroje elektrické energie určené jak pro podvozek, tak manipulační nastavbu a další zařízení umístěná na lokomočním ústrojí. Dále je zde uložen řídicí systém, senzorické vybavení a pohonné jednotky (pro pohon hnacího kola, otočného ramena a pohon pro vyrovnávání manipulační nastavby).



Obr. 14. Varianta „B“ spodní část pásového podvozku

Dále byly provedeny kinematické analýzy. Na dalším obrázku (Obr. 15.) je ukázána jízda pásového lokomočního ústrojí směrem do schodů s naznačenou vodorovnou polohou vrchní části podvozku. Jsou zde také naznačeny možné polohy ramena a rozsah pohybu.



Obr. 15. Varianta „B“ kinematické analýzy pásového podvozku

Podvozek je nutno dále doplnit o senzorický a vizuální subsystém. V zadní snížené části je opět, i když podstatně menší, prostor pro případné umístění reklanzačních stanic.

3.3.3. Varianta C

V třetí a poslední navrhované variantě je podvozek sestaven se šroubovaného nosného rámu, který je tvořen hliníkovými profily. Na nosném rámu jsou dva pásy sloužící pro pohyb celého podvozku. Pás je poháněn pomocí hnací řemenice. Do rámu jsou uchycena ještě další 3 podpěrná kola. Dále jsou zde umístěna vedení pro každý pás vždy vpředu a vzadu, ve kterých jsou uchycena pohyblivá kola umožňující změnu kinematiky pásu a tím usnadnění nájezdu na překážku či její překonání. Aby bylo zachováno napnutí pásu, je nutno navrhnout speciální automatický napínací systém s velkým rozsahem pohybu. Rozsah pohybu by nemusel být tak značný, je však třeba softwarově zamezit možnosti zdvihu z nulové polohy pro obě pohyblivá kola zároveň. Řízení je zde jako u předchozích variant realizováno smykem.

Druhá modulární část rámu je opět z lehkých tvarových hliníkových profilů a spojena pomocí šroubů. Vyrovnávání horní desky do vodorovné polohy zde zajišťují čtyři lineární pohony. Vyrovnávání je tak možné provádět v určitém rozsahu kolem dvou os. Musí se zde dořešit problém s křížením vyrovnávací části.

Na obrázku Obr. 16. je zjednodušený 3D model navrhované varianty.

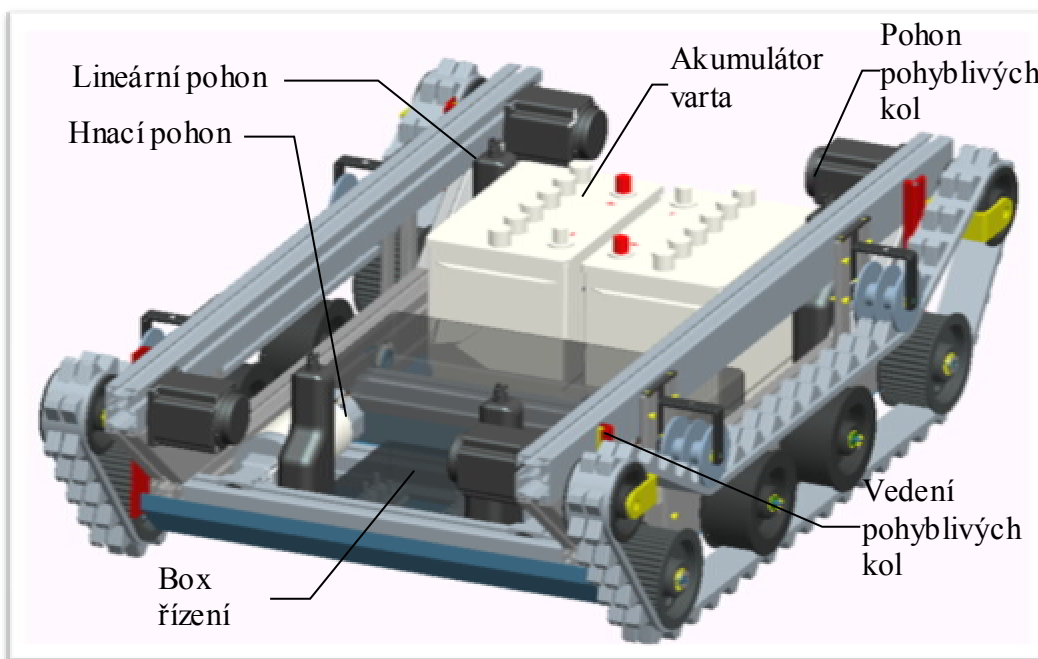


Obr. 16. Varianta „C“ pásového podvozku

Základní parametry podvozku:

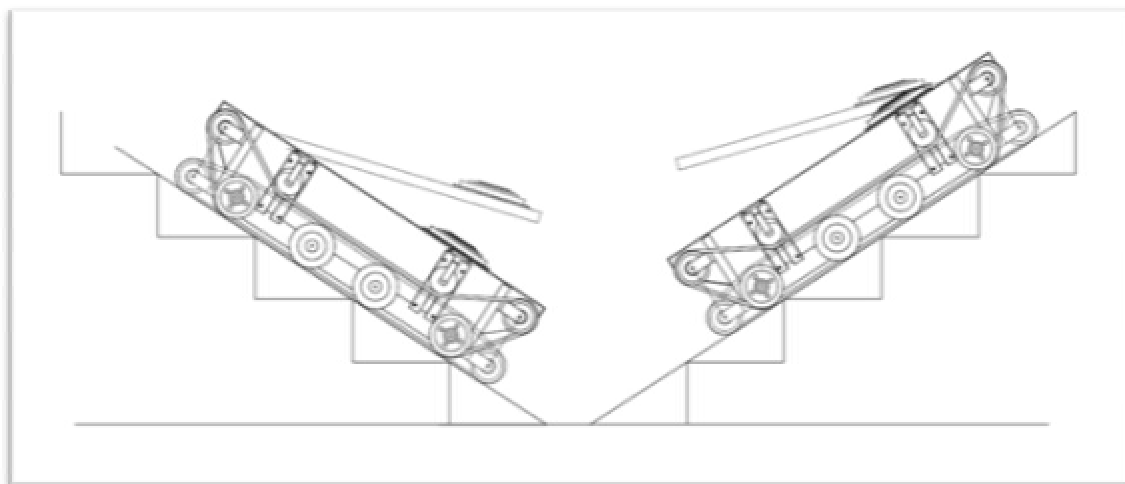
- Výška x Šířka x Délka: 332 x 720 x 1100 [mm]
- Hmotnost: cca 117 kg
- Nosnost: 50 kg

Na spodním rámu (Obr. 17.) jsou umístěny akumulátory, které představují značnou zátěž a další potřebné subsystémy pro správnou funkci podvozku. Je zde však značné množství pohonů, což má nepříznivý vliv na složitost konstrukce a energetickou výdrž na jedno nabití akumulátorů. Celý podvozek je dostatečně krytován dle výše uvedených požadavků.



Obr. 17. Varianta „C“ spodní část pásového podvozku

I u varianty „C“ byly provedeny kinematické analýzy pohybu ze schodů a do schodů (Obr. 18.). Při ověřování pohybu vyrovnávací části bylo zjištěno, že s navrženými pohony není možné uvést manipulační nastavbu při pohybu po schodišti do horizontální polohy. Bylo by třeba zvýšit celé lokomoční ústrojí a zvolit jiný typ pohonů nebo konzultovat se zadavatelem nutnost vyrovnávání.



Obr. 18. Varianta „C“ kinematické analýzy pásového podvozku

4. HODNOCENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

Po předběžném návrhu tří variant je proveden výběr optimální varianty, která bude dále konstrukčně řešena. [9,10]

4.1. HODNOTY KRITÉRIÍ

Jednotlivá kritéria u všech tří variant jsou hodnocena bodovou stupnicí v rozsahu od 1 do 6. Čím je počet bodů nižší, tím je kritérium pro danou variantu příznivější.

Vysoká úroveň...	1
Dobrá úroveň...	2
Průměrná úroveň...	3
Nízká úroveň...	4
Nevyhovující úroveň...	5
Nepříznivý stav...	6

Tab. 1 Bodové hodnocení pro jednotlivá kritéria

4.2. KRITÉRIA ROZHODOVÁNÍ

V tabulce Tab. 2. je seznam vybraných kritérií a jejich bližší charakteristika, na základě kterých jsou navrhované varianty posuzovány a hodnoceny.

Označení kritéria	Kritérium	Charakteristika kritéria
K1	HMOTNOST PODVOZKU	Hmotnost lokomočního ústrojí
K2	NOSNOST	Celková nosnost lokomočního ústrojí
K3	NAPÍNÁNÍ PÁSŮ	Konstrukční náročnost + počet napínání
K4	STABILITA PODVOZKU	Stabilita lok. ústrojí v klidu a v pohybu
K5	SMĚR POHYBU	Omezení při jízdě do schodů
K6	VYROVNÁVACÍ MECH.	Složitost konstrukce + plnění funkce
K7	TYP VYROVNÁVACÍHO MECH.	Druh a počet použitých pohonů a prvků
K8	ROZMĚRY PODVOZKU	Základní rozměry lokomočního ústrojí
K9	DÉLKA PÁSU	Délka pásu, který je v kontaktu s terénem

Tab. 2 Kritéria rozhodování

4.1. ZHODNOCENÍ KRITÉRIÍ PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY

V tabulce Tab. 3. je vyhodnocení zvolených kritérií pro jednotlivé varianty

KRITÉRIUM	VARIANTA A (Čtyři sklopná ramena)	VARIANTA B (Dvě otočná ramena)	VARIANTA C (Čtyři posuvná kola)
K1	cca 135 kg 4	cca 123 kg 3	cca 117 kg 2
K2	50 kg a více 3	50 kg a více 3	max. 50kg 4
K3	4 napínání 5	2 napínání 2	4 napínání 4
K4	vyhovující 3	vyhovující 1	vyhovující 2
K5	žádné 1	jeden směr 2	žádné 1

K6	vyhovující 4	vyhovující 2	nevyhovující 6
K7	lin. pohon -2 2	lin. pohon -2 2	lin. pohon -4 4
K8	390 x716 x 1044 [mm] 3	318 x746 x 1090 [mm] 2	330 x720 x 1100 [mm] 2
K9	1165 mm 2	995 mm 3	974 mm 4

Tab. 3 Zhodnocení kritérií

4.2. STANOVENÍ VÝZNAMNOSTI KRITÉRIÍ

4.2.1. Váha významnosti q (metoda trojúhelníku párů)

POROVNÁVANÉ PÁRY KRITÉRIÍ								POČET VOLEB V	POŘADÍ	VÁHA VÝZNAMNOSTI Q _i
K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	K1	6	2	1,846
K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	7	1	2
	K2	K2	K2	K2	K2	K2	K2	3	5	1,385
	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	7	1	2
		K3	K3	K3	K3	K3	K3	1,5	6	1,154
		K4	K4	K4	K4	K4	K4	3,5	4	1,462
			K5	K5	K5	K5	K5	0	7	1
			K6	K6	K6	K6	K6	5	3	1,692
				K7	K7	K7	K7	3	5	1,385
				K8	K8	K8	K8			
					K9	K9	K9			

Tab. 4 Metoda trojúhelníku párů

4.2.2. Index změny parametru a vážené indexy

Vážený index

$$I'_{ij} = I_{ij} \cdot q_i$$

$q_i \rightarrow$ váha významnosti i-tého parametru
 $I_{ij} \rightarrow$ Index změny I-tého parametru j-té varianty

Kritérium	Varianta A			
	Bodové hodnocení	Váha významnosti q_i	Index změny I_{ij}	Vážený index kritéria I'_{ij}
K1	4	1,846	4	7,384
K2	3	2	3	6
K3	5	1,385	5	6,925
K4	2	2,000	3	6
K5	2	1,154	1	1,154
K6	3	1,462	4	5,848
K7	3	1	2	2
K8	3	1,692	3	5,076
K9	2	1,385	2	2,77
Celkový součet indexů I'_{ij} varianty A:				43,157

Tab. 5 Index změny parametru a vážené indexy pro variantu A

Kritérium	Varianta B			
	Bodové hodnocení	Váha významnosti q_i	Index změny I_{ij}	Vážený index kritéria I'_{ij}
K1	3	1,846	3	5,538
K2	3	2	3	6
K3	2	1,385	2	2,77
K4	2	2,000	1	2
K5	3	1,154	2	2,308
K6	2	1,462	2	2,924
K7	3	1	2	2
K8	2	1,692	2	3,384
K9	3	1,385	3	4,155
Celkový součet indexů I'_{ij} varianty B:				31,079

Tab. 6 Index změny parametru a vážené indexy pro variantu B

Kritérium	Varianta C			
	Bodové hodnocení	Váha významnosti q_i	Index změny I_{ij}	Vážený index kritéria I'_{ij}
K1	2	1,846	2	3,692
K2	4	2	4	8
K3	3	1,385	4	5,54
K4	4	2,000	3	6
K5	2	1,154	1	1,154
K6	4	1,462	6	8,772
K7	2	1	4	4
K8	4	1,692	2	3,384
K9	4	1,385	4	5,54
Celkový součet indexů I'_{ij} varianty C:				46,082

Tab. 7 Index změny parametru a vážené indexy pro variantu C

4.3. SOUČET VÁŽENÝCH INDEXŮ A STANOVENÍ POŘADÍ VARIANT

Pořadí	Celkový součet vážených indexů I'_{ij}	Varianta
1	31,1	B
2	43,2	A
3	46,1	C

Tab. 8 Pořadí jednotlivých variant

Po provedení hodnotové analýzy a zvážení všech výběrových kritérií jsem došel k závěru, že nejvhodnější varianta pro řešení diplomové práce je varianta B. Tato varianta se jeví jako nejvhodnější, proto ji budu dále konstrukčně zpracovávat.

5. ROZBOR A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VYBRANÉ VARIANTY

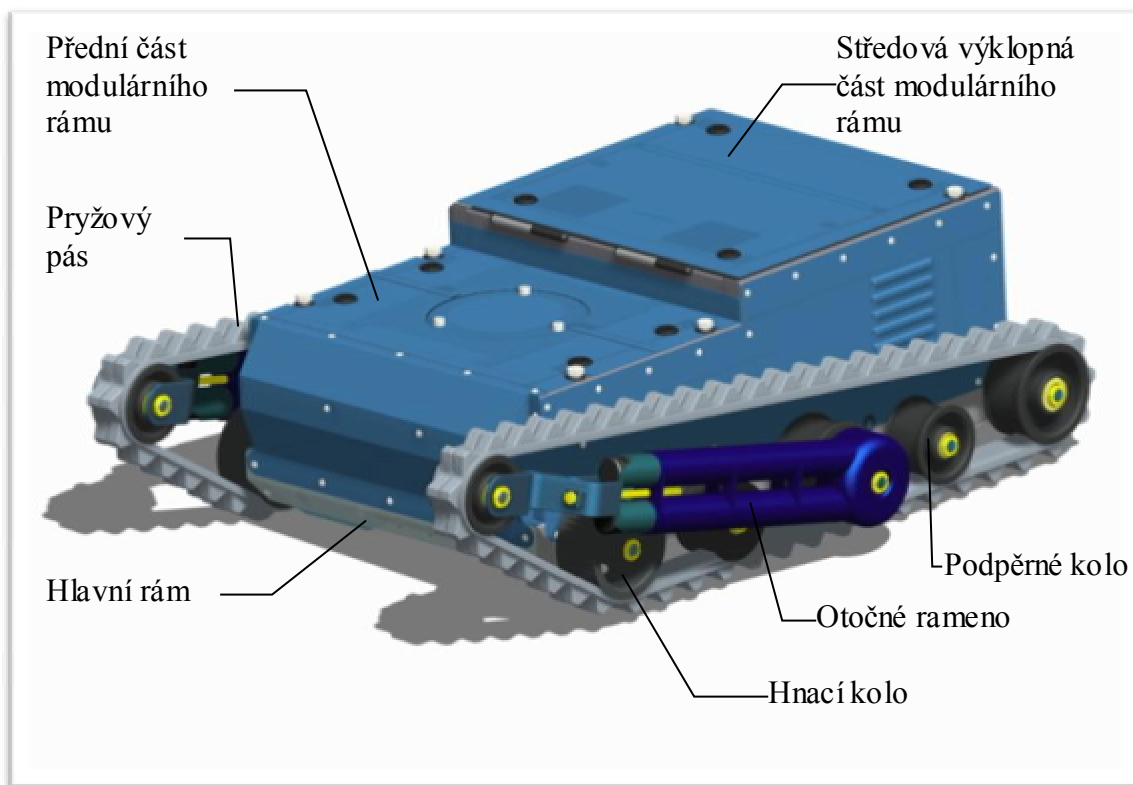
5.1. PÁSOVÝ PODVOZEK

Navržený pásový podvozek (Obr. 19.) je schopen díky možnosti změny kinematiky rámu snáze překonávat překážky a schodiště. Předpokládané využití podvozku je městské prostředí, jak venkovní, tak vnitřní. Ve venkovním prostředí se předpokládá možnost nájezdu na chodník, překonání silničního obrubníku, nerovnosti komunikací, mírné svahy a další drobné terénní nerovnosti. Ve vnitřním pak pohyb po chodbách, zdolávání schodišť do maximálního sklonu 35° , průjezd otevřenými dveřmi minimální šířky 80cm a podobně.

Podvozek se pohybuje po dvou pásech, které jsou samostatně poháněny za pomoci dvou stejnosměrných pohonů se šnekovou převodovkou. Tyto pásy jsou vyrobeny z vulkanizované pryže o délce 2400 mm a podepřeny koly ze speciálního silonu využívaného pro tyto účely. Změna geometrie pásů je prováděna za pomoci ramene s možností otáčení v rozsahu 250° . Další výhodou navrženého pásového podvozku je možnost vyrovnávání středové části podvozku v jedné ose, a to až do sklonu nerovnosti 35° . Celá konstrukce je pak kompletně krytována a utěsněna proti vniknutí případné vlhkosti a prachu dovnitř.

ZÁKLADNÍ PARAMETRY KONSTRUKCE:

Výška x Šířka x Délka	330 x 740 x 880 (minimální délka)	
	330 x 740 x 1090 (maximální délka)	
Hmotnost podvozku	128,2 kg	
Nosnost podvozku	celková	– 50 kg (max. zatížení)
	přední část	– 25 kg
	středová část	– 30 kg
Minimální rychlost	3 km/hod.	
Výdrž na jedno nabití	cca 1 hodinu	



Obr. 19. Navržené konstrukční řešení pásového podvozku

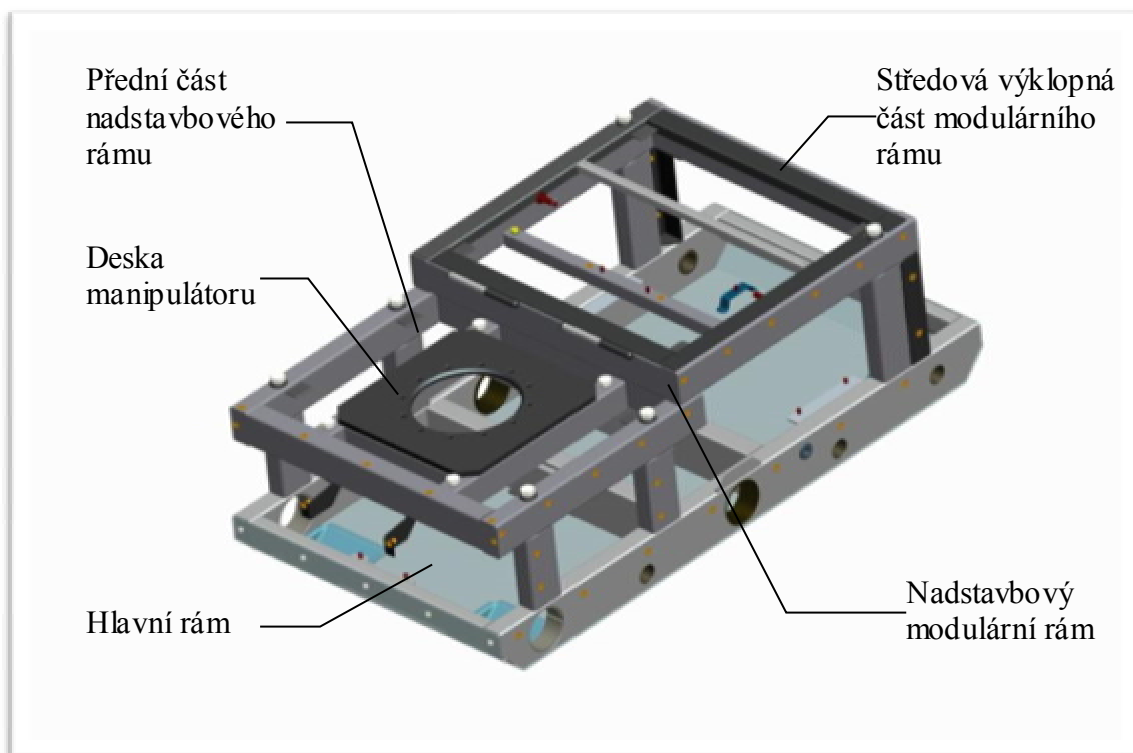
V další podkapitole budou postupně popsány jednotlivé části pásového podvozku. Tyto části jsou: rám (hlavní rám, modulární nadstavbový rám, hnací a podpěrná kola), otočné rameno, boxy a další komponenty (akumulátory, řídicí systém,...), kryty.

5.2. POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ PÁSOVÉHO PODVOZKU

5.2.1. Rám podvozku

Základem navržené konstrukce je rám, který se skládá ze dvou základních částí: hlavního rámu a modulárního nadstavbového rámu. Tyto části jsou zachyceny na obrázku Obr. 20.

Provedení rámu je z tenkostěnných ocelových profilů obdélníkového průřezu. Hlavní rám má tloušťku stěny 2 mm, nadstavbový pak 1,5 mm. Hmotnost celého složeného rámu bez krytů je 36,9 kg a základní rozměry 899 x 474 x 298 [mm] (d x š x v).

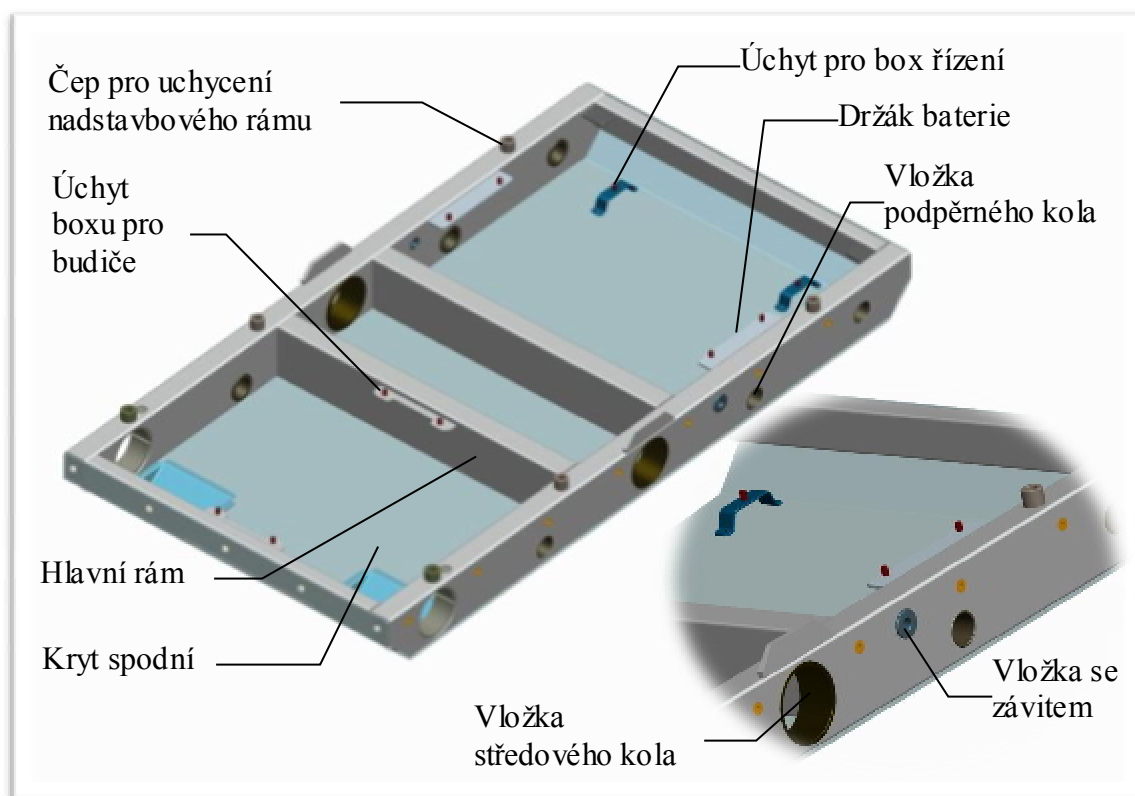


Obr. 20. Rám pásového podvozku

HLAVNÍ RÁM

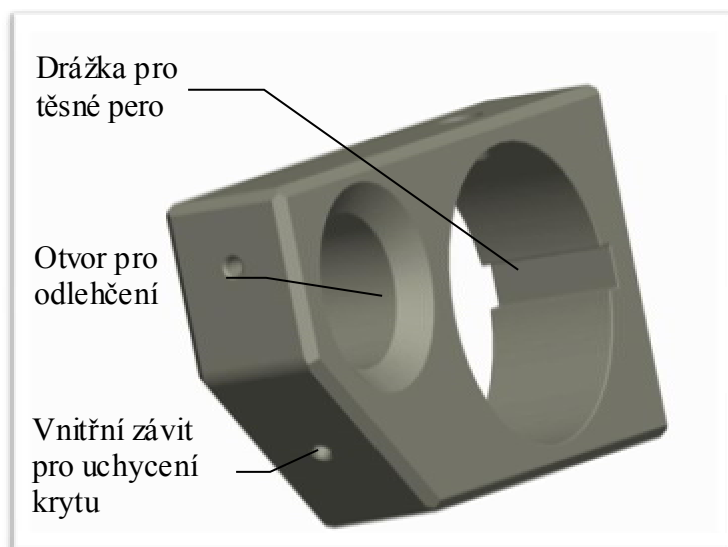
Slouží jako nosný prvek celého podvozku. Použité profily mají průřez 70 x 30 mm a stěnu o síle 2 mm. Jak je vidět na obrázku Obr. 21., po svaření profilů jsou do nich vyvrtány otvory, do kterých se následně vsunou a zavaří vložky pro náboje podpěrných kol a také vložky a čepy se závity pro uchycení modulární nadstavbové části rámu a lineárních pohonů. Pro uchycení hnacího náboje je do přední části rámu vložena ocelová vložka (Obr. 22.). Ta je opatřena drážkou pro pero, aby se zabránilo případnému pootočení vložky a následnému naklopení a poškození motoru nebo jiných částí podvozku. Vložka je z důvodu snížení hmotnosti odlehčena otvorem v přední části a také opatřena otvory se závity pro přišroubování krytů. Tyto otvory budou vyvrtány při montáži spodního krytu.

Všechny vložky budou vyrobeny s menšími funkčními rozměry a po svaření a vyžehání celé konstrukce ke snížení vnitřního pnutí budou obrobeny na požadovaný rozměr. Dále se zajistí tímto postupem jejich vycentrování a nedojde k vyosení nábojů kol a následnému nadměrnému namáhání těchto částí.

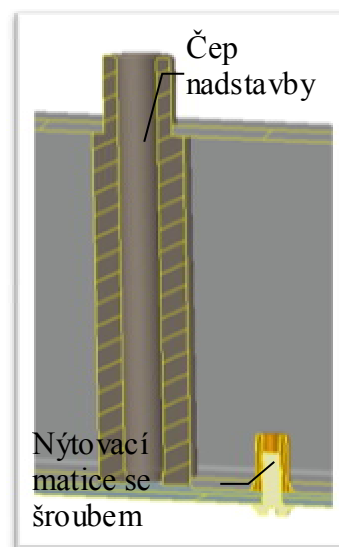


Obr. 21. Hlavní rám pásového podvozku

Na obrázku Obr. 23. je znázorněn čep s vnitřním závitem pro uchycení nadstavbové části rámu. Ta je k hlavnímu rámu uchycena pomocí šesti šroubů se závitem M10 s délkou šroubu 4 x 120 mm a 2 x 160 mm.



Obr. 22. Vložka hnacího náboje



Obr. 23. Čep se závitem

Čep má průměr 15 mm, ve spodní části je pak rozšířen na průměr 20 mm. Z obou dostupných konců se přivaří k profilu.

Na obrázku je dále znázorněn způsob uchycení krytů k tenkostěnným profilům. Pro tyto účely bude použito nýtovacích matic s vnitřním závitem, které se osadí do připravených otvorů a sešroubováním se pevně spojí s profilem. Navrhované šrouby pro kryty podvozku jsou šrouby s čočkovitou hlavou, s nákrůžkem a vnitřním šestihranem M4 x 12 mm dle normy BN 11525.01.

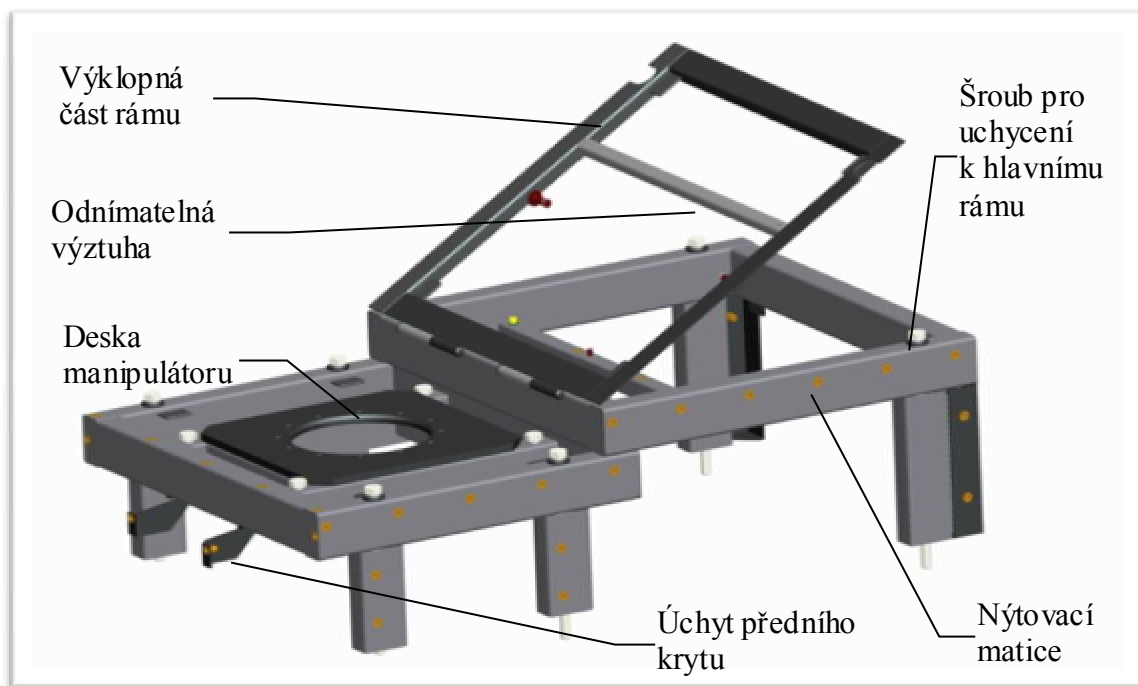
Hlavní rám je dále opatřen úchyty k přichycení boxu pro budiče pohonů a držáku akumulátoru, který se nachází ve střední části podvozku. Box pro řízení je umístěn vzadu a je přišroubován pomocí navařených úchytů ke spodnímu krytu podvozku. Tento kryt je v přední části opatřen tvarovým prohloubením kvůli zakrytování šnekové převodovky. Po obvodu je nanesen těsnicí tmel a po osazení hnacího pohonu je kryt pevně přišroubován k rámu.

NADSTAVBOVÝ MODULÁRNÍ RÁM

Nadstavbový rám byl konstrukčně řešen jako modulární (Obr. 24.). Svařovaná konstrukce z tenkostěnných profilů 50 x 50 mm s tloušťkou stěny 1,5 mm je za pomoci šesti šroubů přichycena k hlavnímu rámu. V případě potřeby je tak zajištěna jednoduchá demontáž a výměna za jiný typ rámu. Tím se zvyšuje možnost využití pásového podvozku a jeho flexibilita.

Přední část nadstavbového rámu je opatřena úchyty pro připojení desky manipulátoru (Obr. 25. a Obr. 26.). Deska manipulátoru je ukotvena pomocí čtyř šroubů M10 x 25 mm a umožňuje jednoduché vyjmutí a následnou záměnu za jiný typ příruby pro manipulační nadstavbu.

V nadstavbovém rámu jsou také úchyty na zajištění boxu pro manipulační nadstavu a řídicího systému.



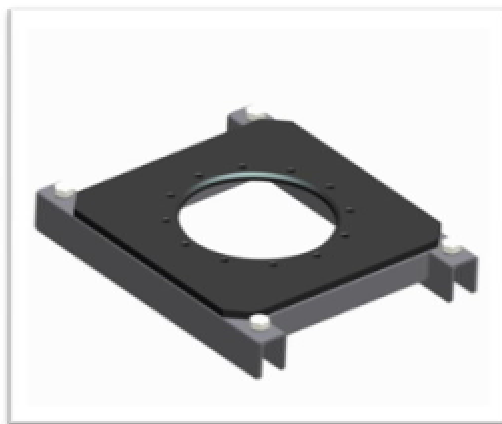
Obr. 24. Nadstavbový modulární rám

Střední část rámu byla ještě doplněna o výklopnou část. Ta je vyrobena s plechu o tloušťce 1,5mm a doplněna odnímatelnou výztuhou. Výztuha musela být řešena jako snadno demontovatelná, aby bylo možno do smontovaného rámu zasunout zdroj elektrické energie a řídicí systém. Způsob jejich umístění a uchycení bude vysvětlen dále v textu.

Výklopná část se otáčí na dvou pantech, které jsou proti vysunutí zajištěny pojistným kroužkem.



Obr. 25. Příprava pro desku manipulátoru



Obr. 26. Deska manipulátoru

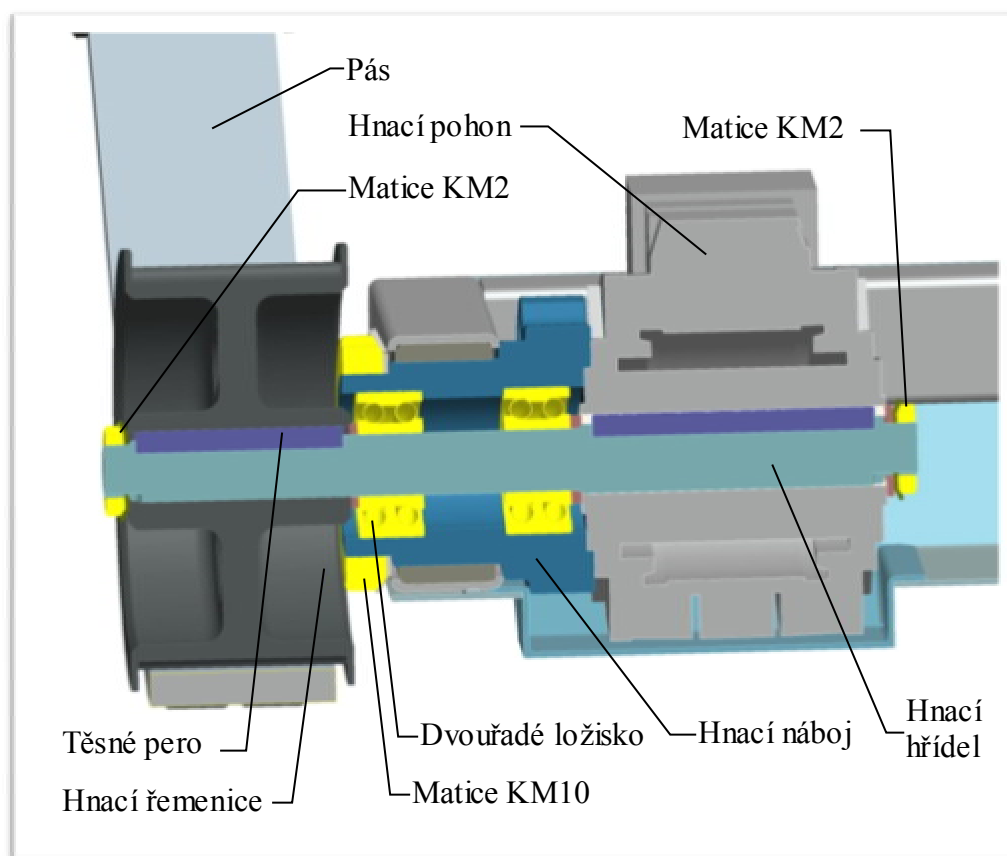
Využití funkce automatického vyklápění se předpokládá například při jízdě přes překážku nebo do schodů, kdy bude zapotřebí přepravovat předměty ve vodorovné poloze. Je možné vyklopit otočnou část o úhel 35° , což je maximální sklon překonávané překážky.

5.2.2. Pohony

Navržený pásový podvozek je osazen celkem třemi páry pohonných jednotek. Jedná se hnací pohony umístěné v přední části hlavního rámu. Ve středové části jsou osazeny pohony pro pohyb otočných ramen, a také lineární pohony pro zajištění výše zmíněného vyrovnávání středové části nadstavbového rámu.

Hnací pohon se skládá ze šnekové převodovky VARVEL a stejnosměrného motoru AMER. Převodovka VARVEL s označením RS má převodový poměr $i=10$, výstupní otáčky při plném zatížení 140 min^{-1} , maximální krouticí moment na výstupu je 46 Nm a přenášený výkon $0,81 \text{ Kw}$. Motor od společnosti AMER typ MP100 s maximálním krouticím momentem 7 Nm s napájením 48 V byl po písemné konzultaci s dodavatelem vybrán jako dostačující pro požadovanou aplikaci. Stejný typ hnacího pohonu byl použit i při realizaci funkčního prototypu vyráběného na katedře robototechniky a osvědčil se.

Na obrázku Obr. 27. je zobrazeno, jakým způsobem je provedeno uložení a přenos krouticího momentu. Hnací hřídel je osazena těsným perem a jemně nalisována do šnekové převodovky. Vloží se distanční kroužek, dvouřadé kuličkové ložisko s kosoúhlým stykem a zasune se do hnacího náboje. Ten se pomocí čtyř šroubů přišroubuje k pohonné jednotce, osadí perem a vloží do ocelové vložky uvnitř tenkostěnného profilu. Z venkovní strany se náboj zajistí KM maticí s podložkou. Vloží se další ložisko, distanční kroužek, pero hnacího kola, samotné hnací kolo a vše se z obou stran zajistí KM maticemi. Obdobným způsobem je smontován i další hnací pohon.

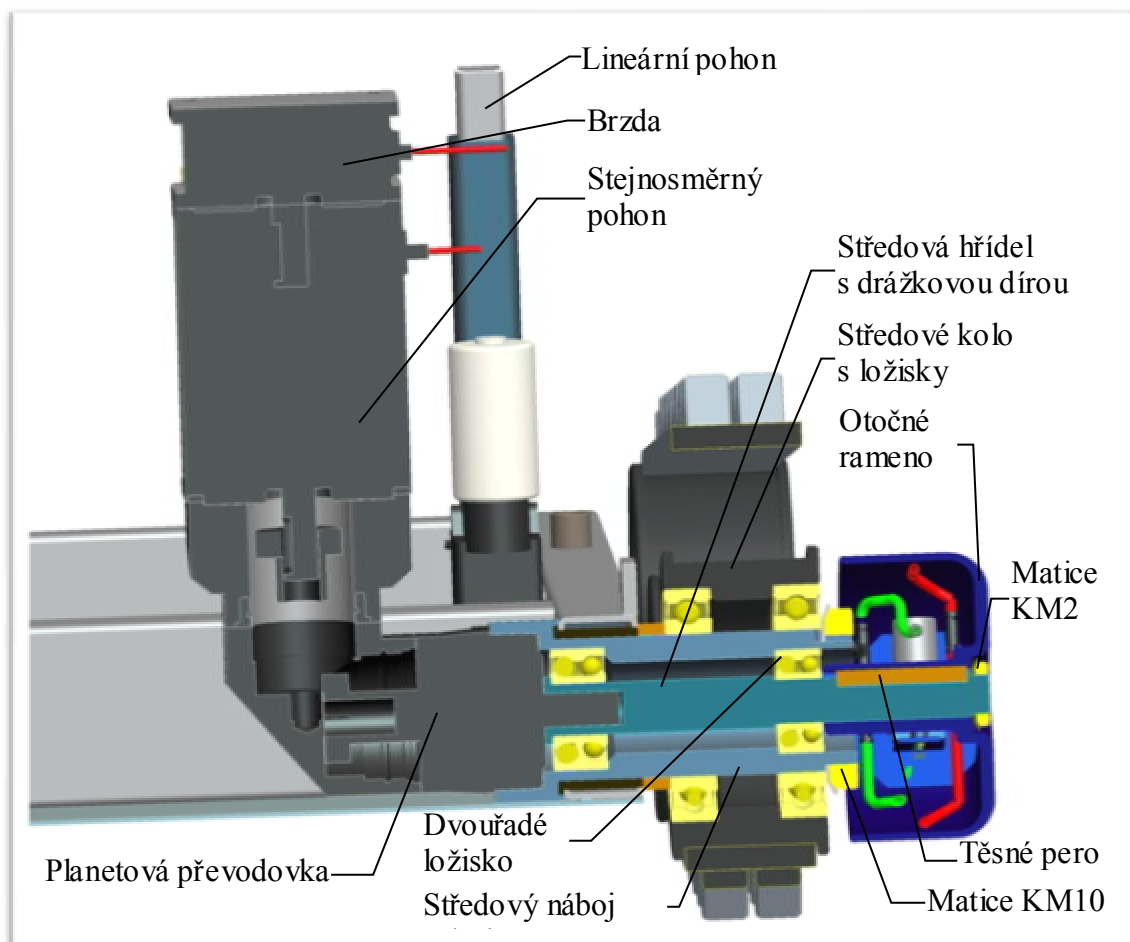


Obr. 27. Hnací pohon - řez

Pohonná jednotka otočného ramene se skládá z planetové převodovky od zahraničního výrobce APEX Dynamics typová řada AFR060 s převodovým poměrem $i = 25$ přenese maximální krouticí moment 204 Nm. Stejnoseměrný servomotor, který dodává společnost Allied Motion Technologies pod označením QB03402 doplněný o elektricky ovládanou brzdu s krouticím momentem 2,32 Nm a možností přetížení až na 16,2 Nm. Na základě předběžně provedených výpočtů předpokládám, že daná pohonná jednotka bude vyhovující. Před samotnou realizací je však nutné provést ještě dodatečné výpočty a měření na funkčním prototypu, neboť není možné přesně určit síly působící od napnutého pásu na otočné rameno.

Z následujícího obrázku (Obr. 28.) je patrné konstrukční řešení celého uzlu středového kola včetně připojeného pohonu a otočného ramene. Pohon má na výstupu drážkový hřídel, který je vsazen do drážkové díry na hřídeli ramene. Ta se osadí

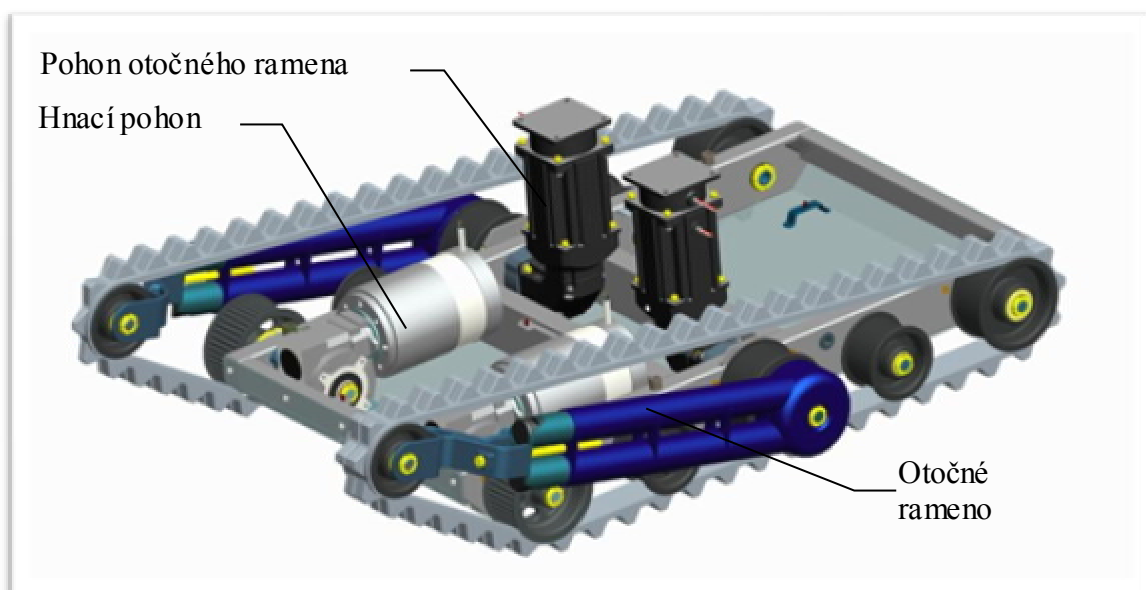
dvouřadým kuličkovým ložiskem se zkříženými válečky a vloží se do náboje středového kola, ke kterému se připevní pohonná jednotka pomocí čtyř šroubů. Celý náboj je vložen do hlavního rámu. Na náboj se osadí středová kola s kosoúhlými ložisky a zajistí KM maticí. Nakonec dojde k nasunutí posledního ložiska a otočného ramene na hřídel a provede se dotažení matice KM2.



Obr. 28. Pohon otočného ramene - řez

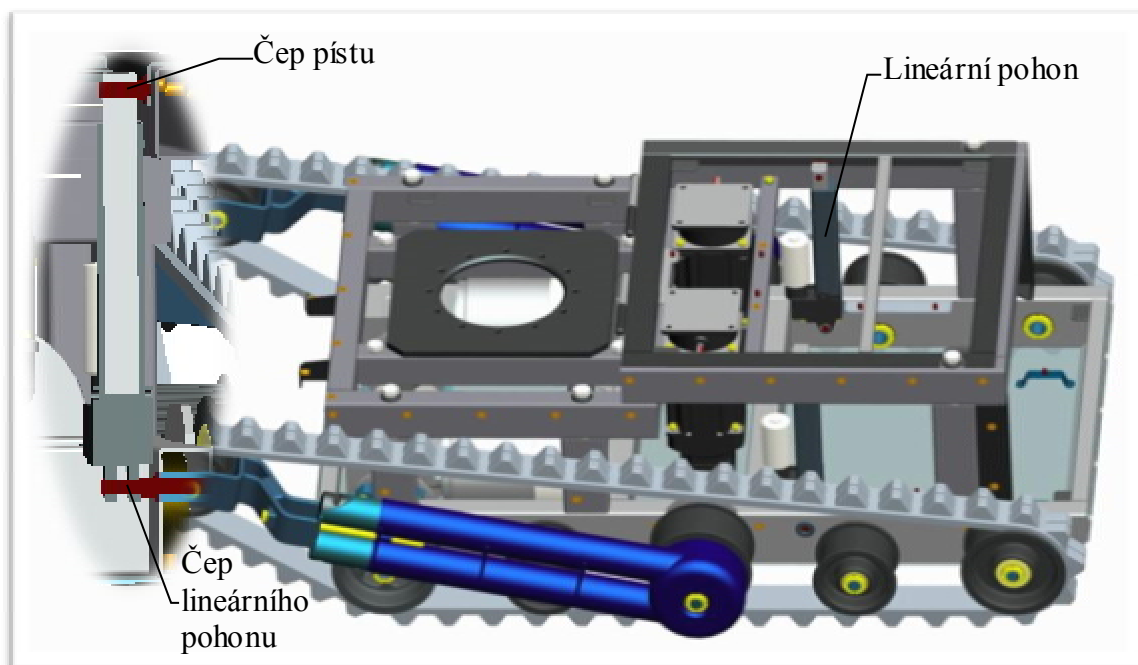
Jistým konstrukčním vylepšením by bylo přenášet krouticí moment z hřídele na otočné rameno pomocí drážkového hřídele místo těsného pera.

Výše zmíněné pohonné jednotky jsou pro funkci podvozku bez nadstavbového rámu uloženy pouze v rámu hlavním (Obr. 29.). Po jednoduché demontáži se může podvozek pohybovat i bez manipulační a nadstavbové části a je tak splněn požadavek kladený na tuto konstrukci, aby byla řešena jako modulární koncepce.



Obr. 29. Hlavní rám s otočnými rameny a pohony

Poslední pár pohonů slouží pro vyrovnávání středové části do vodorovné polohy. Jedná se o zdvižnou minipřevodovku od společnosti TEA Technik se stejnosměrným motorem. Napájení je 24 V, osově zatížení jednoho pohonu pak 600 N. Požadovaný zdvih byl určen na 105 mm.



Obr. 30. Sestavený rám s lineárním pohonem

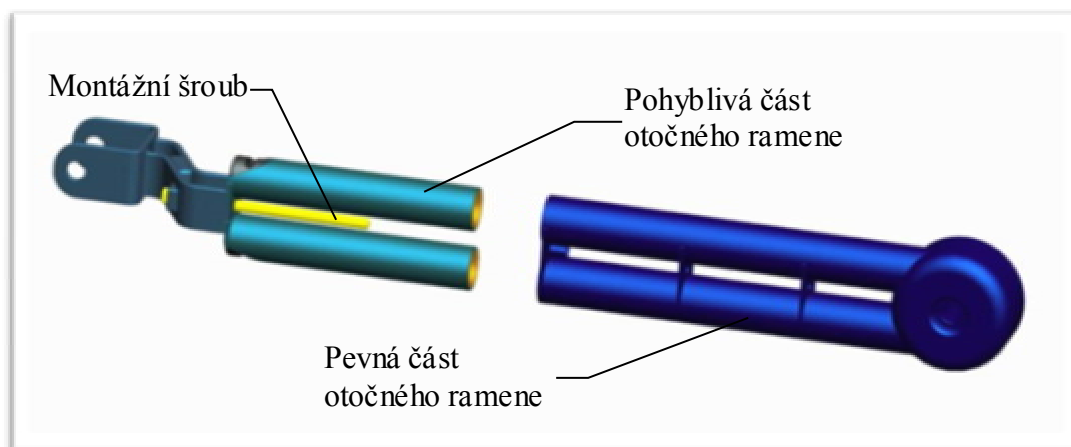
Lineární pohonná jednotka se vkládá až po připojení nadstavbového rámu k rámu hlavnímu (Obr. 30.). Do připravené vložky se závitem se našroubuje čep a utěsní se přípravkem Loctite 248 pro zajišťování a utěsňování rozebíratelných spojů. [25] Druhý čep pro uchycení pohyblivé části pohonu je přivařen k výklopnému rámu. Na tyto čepy se usadí pohon a proti axiálnímu vyosení se zajistí pojistnými kroužky. Při pracovním zdvihu pohonu dojde k jeho pootočení směrem k přední části podvozku. Bylo vypočteno otočení o úhel 7° . Při analýze umístění pohonu je v rámu dostatečný prostor pro pohyb bez kolize.

Veškeré parametry a specifikace navržených pohonných jednotek jsou uvedeny v katalogových listech, které jsou zařazeny do příloh diplomové práce.

5.2.3. Otočné rameno

Otočné rameno slouží pro rychlou změnu geometrie pásu, která usnadní při pohybu překonávání terénních nerovností a překážek. Usnadní zdolávání schodů a při uvíznutí může pomoci při vyproštění bez zásahu obsluhy nadzvednutím pásového podvozku. Možné pracovní polohy a jistá omezení ramene budou rozebrány k podkapitole 5.3.

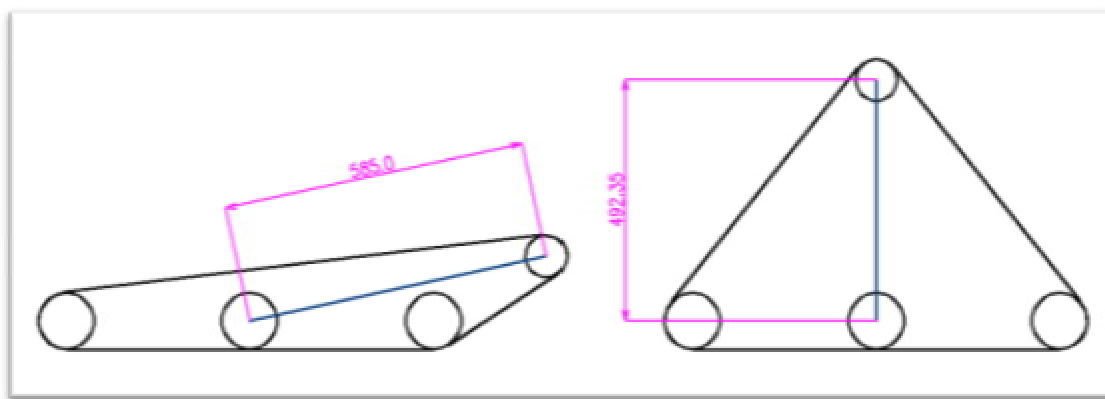
Rameno se skládá ze dvou základních částí: z pevného a pohyblivého ramene. Obě části jsou zobrazeny na obrázku Obr. 31.



Obr. 31. Otočné rameno

Požadavky na konstrukci ramene jsou následující: zajistit potřebné napínání pásu a měnit svou délku na základě pootočení ramene, aby nedošlo k destrukci pásu. K zajištění těchto požadavků bylo použito dvou pružin pro každé rameno. Předpokládaná síla působící v ose ramena (zatížení pružin) je v rozsahu 600 - 1000 N. Je třeba brát v úvahu, že při otáčení ramene se velikost napínacích sil mění. Tyto síly musí být dostatečně velké, aby pás napnuly, a nesmí překročit určitou mez, aby nedošlo k přetržení. Pro výpočet pružin a pevnostní analýzy byly síly odhadnuty a je třeba provést měření na vyrobeném prototypu.

Na obrázku Obr. 32. je analýza změny délky ramene při zachování délky pásu 2400 mm. Pracovní rozsah pohyblivé části stanovují na 105 mm.

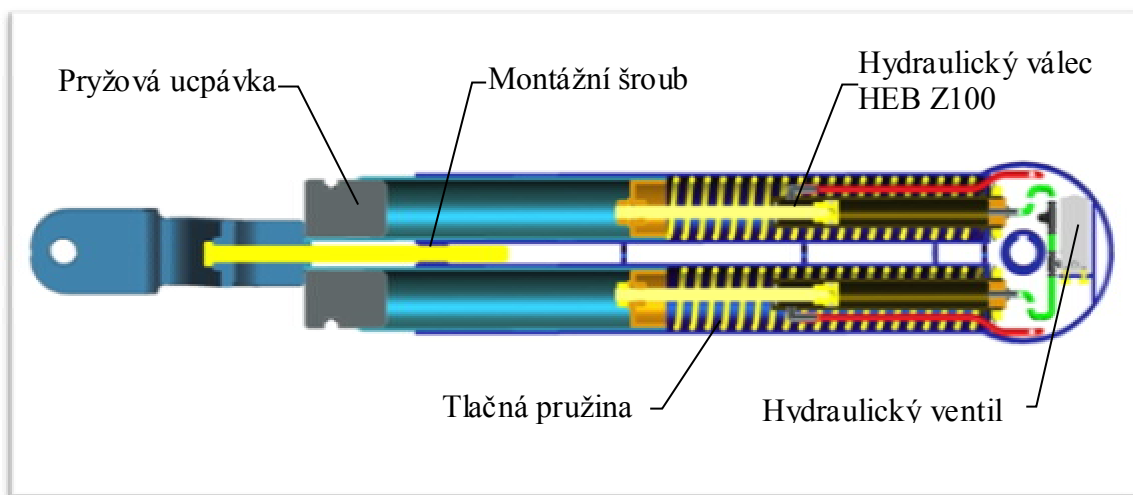


Obr. 32. Analýza změny délky ramene

Dále bylo potřeba zajistit, aby při nájezdu podvozku na překážku (například hranu schodu) nedošlo k deformaci pásu a následného stlačení ramena. Díky tomuto negativnímu účinku by mohlo dojít ke ztrátě kontaktu pásu a řemenice nebo dokonce ke spadnutí pásu. Tento problém byl vyřešen přidáním hydraulického válce od firmy HEB (typ Z100), která jej dle výkresové dokumentace upraví a to tím, že připojení válce bude realizováno pomocí KM matice. (Viz další obrázek v textu). Vývody z válců se propojí mezi sebou a přivedou na vstup a výstup obousměrného elektricky ovládaného ventilu pro hydraulickou kapalinu. Tím, že se obvod naplněný kapalinou uzavře, dojde k uzamčení ramena a nebude jej možno otáčet ani stlačit. [31,33]

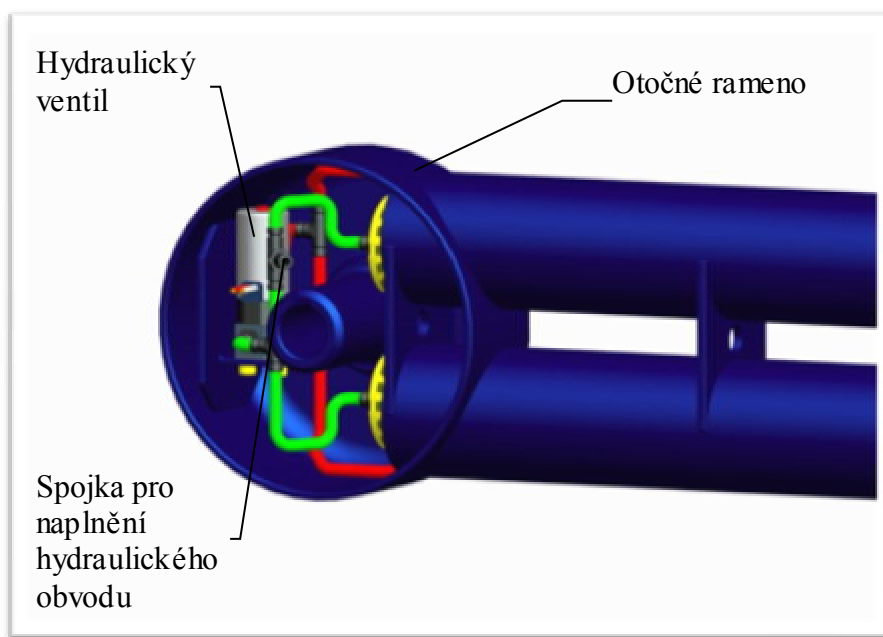
Celé konstrukční řešení ramene je následující (Obr. 33.). Do pevné části ramena jsou vloženy tlačné pružiny. Středem každé pružiny prochází jeden hydraulický válec,

který se uchytí KM maticí. Do pevného ramena vložíme pohyblivou část a za pomoci montážního šroubu obě části přitáhneme k sobě. Pohyblivou část připojíme k pístu hydraulického válce maticí a z přední strany utěsníme pryžovou ucpávkou. Aby se zmírnilo vnikání nečistot dovnitř ramena. Následuje spojení hydraulických hadic (Obr. 34.) a připojení k hydraulickému zámku.



Obr. 33. Otočné rameno - řez

Jakmile je rameno smontováno, naplní se hydraulický obvod kapalinou. K tomuto účelu je do obvodu vložena rychlospojka, která má jak plnicí, tak vypouštěcí funkci.

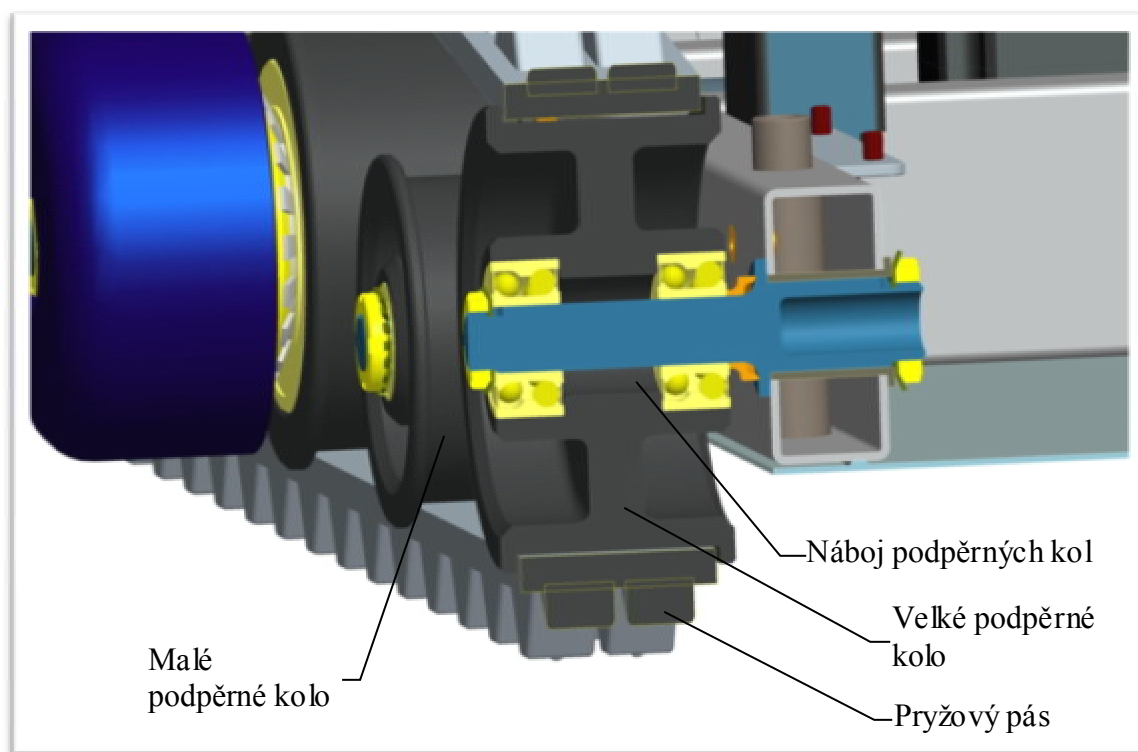


Obr. 34. Otočné rameno – hydraulické vedení

Montážní šroub slouží k ještě jednomu účelu. Poté, co je rameno uchyceno k rámu a jsou uchycena všechna podpěrná kola, následuje montáž pryžového pásu. Pomocí montážního šroubu se přetlačí pružina a rameno se zkrátí na minimální délku. Nasadí se pás a montážní šroub se vyšroubuje.

5.2.4. Podpěrná kola a pás

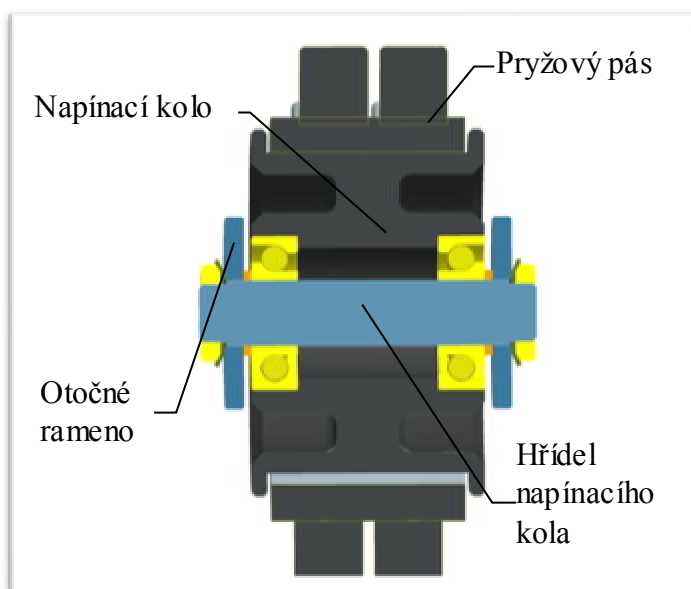
Podpěrná kola jsou vyrobena ze speciálního plastu využívaného k těmto účelům. Kola byla využita i na vyrobeném funkčním prototypu a osvědčila se. Uchycení kol bylo pozměněno. Každé kolo je samostatná sestava (Obr. 35.) skládající se z náboje, distančního kroužku a plastového kola s dvouřadými kuličkovými ložisky, které je zajištěno KM maticí. Náboj je vložen do hlavního rámu a z vnitřní strany zajištěn opět KM maticí. V případě potřeby je možná rychlá demontáž a výměna například poškozeného podpěrného kola.



Obr. 35. Podpěrné kolo - řez

Podvozek je osazen podpěrnými koly o dvou velikostech. Menší kola jsou uchycena stejným způsobem.

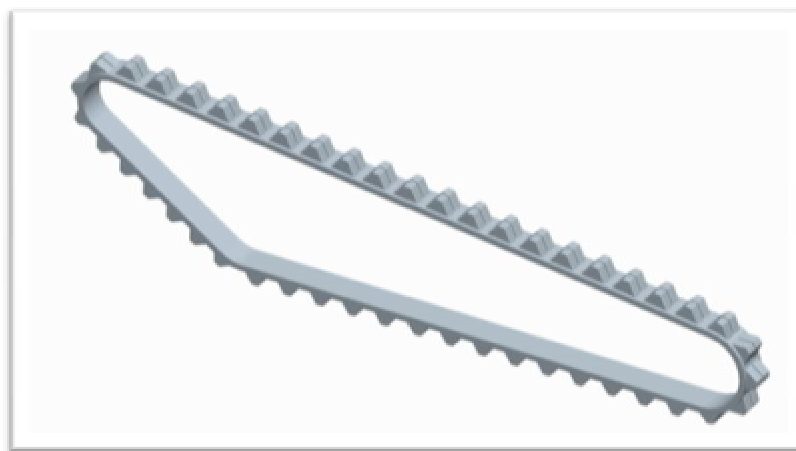
Napínací kolo (Obr. 36.) je umístěno na pohyblivém rameni a je vyrobeno rovněž ze speciálního plastu. Dvnitř kola jsou nalisována jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem. Kolo se vloží do úchyty ramena, provleče se napínací hřídel a zajistí z každé strany KM maticí.



Obr. 36. Napínací kolo – řez

Středové kolo je montováno spolu s pohonem otočného ramena.

Pás podvozku (Obr. 37.) je vyroben z ozubeného řemene, na který jsou navulkanizovány velké zuby, které usnadňují pohyb po schodech. Pás má délku 2400 mm a běžně se využívá pro schodolezy a podobné aplikace.

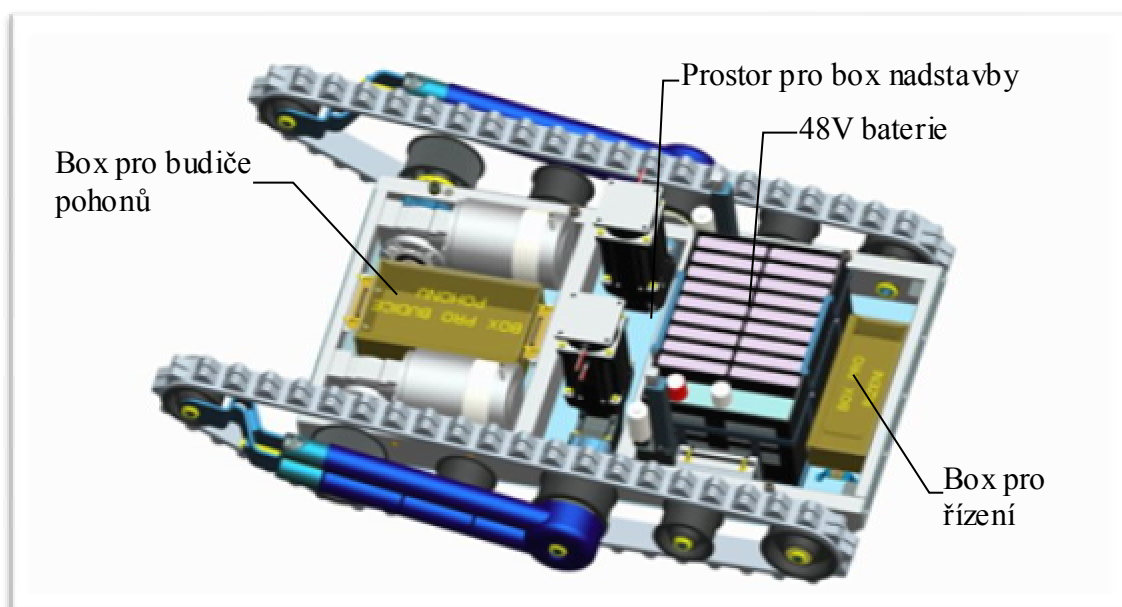


Obr. 37. Pás - 2400 mm

5.2.5. Boxy a další komponenty

Součástí podvozku jsou také elektrické komponenty a zařízení. Při návrhu jakékoliv konstrukce se na ně nesmí zapomenout. Pásový podvozek byl osazen plechovými boxy pro budiče, pro řízení a pro manipulační nadstavbu. Jedná se o prázdné krabice, které je nutné doplnit komponenty, kabeláží a dalším příslušenstvím.

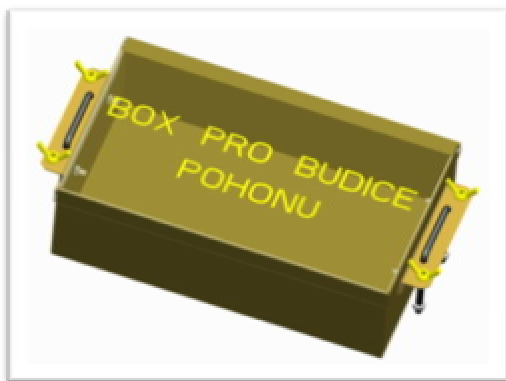
Součástí hlavního rámu jsou box pro budiče pohonů (Obr. 39.) a pro řízení, které jsou nezbytné pro chod podvozku bez nadstavbového rámu. Dále je hlavní rám osazen zdrojem elektrické energie. Na obrázku (Obr. 38.) je ukázáno rozmístění boxů a zdroje v hlavním rámu.



Obr. 38. Boxy a zdroj v hlavním rámu

Jako akumulátor pásového podvozku byla vybrána modulární baterie LiFePo4 vhodná pro invalidní vozíky a mobilní zařízení. Baterie je 48V s kapacitou 50Ah o hmotnosti 22,4 kg. Maximální možný odebíraný proud je 100A. (Obr. 40.) Akumulátor je umístěn do držáku opatřeného pryžovými kloboučky pro zmírnění vibrací a otřesů. [29]

Všechny boxy, akumulátory a ostatní příslušenství je připevněno k rámu pomocí křídlových matic nebo šroubů, aby byla zajištěna snadná a rychlá demontáž v případě nutného zásahu obsluhy.



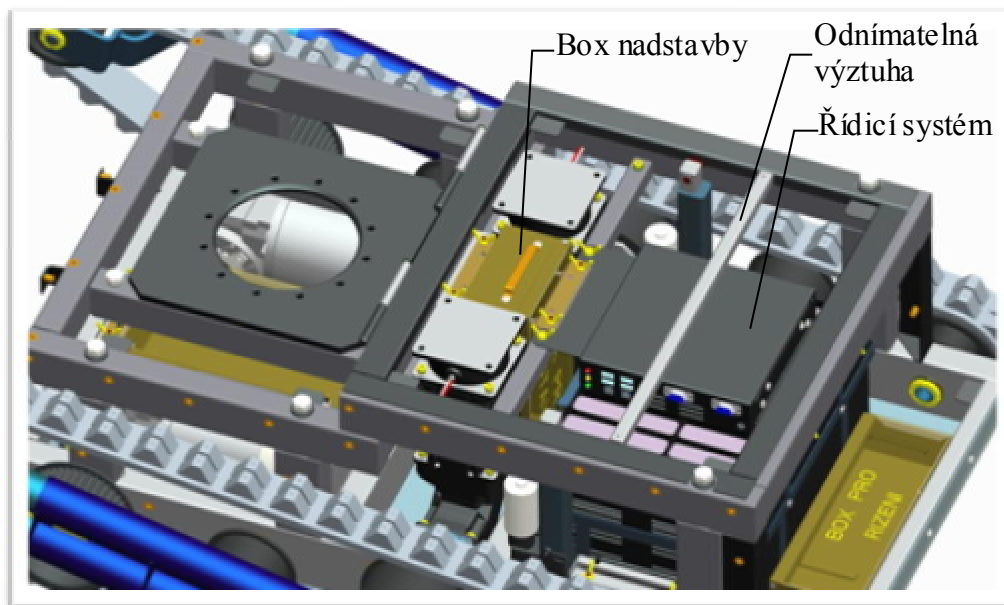
Obr. 39. Box pro budiče pohonů



Obr. 40. 48V zdroj

V nadstavbovém rámu je uchycen box pro manipulační nadstavbu a řídicí systém celého pásového podvozku. Řídicí systém (Obr. 42.) byl vybrán MS -9A08 od firmy MSI. Výhodou je nízká hmotnost a malé rozměry. Bližší informace jsou v katalogovém listu, který je zařazen do příloh. [30]

Obrázek (Obr. 41.) znázorňuje uchycení komponentů v nadstavbové části.



Obr. 41. Box a řídicí systém v nadstavbovém rámu

Ve vnitřním prostoru podvozku je ještě volný prostor, který je určen pro další komponenty potřebné k řízení a snadnému užívání (například nabíječka akumulátoru, sklonoměr, příslušenství senzorů, teploměr pro měření teploty uvnitř podvozku atd.) Tyto

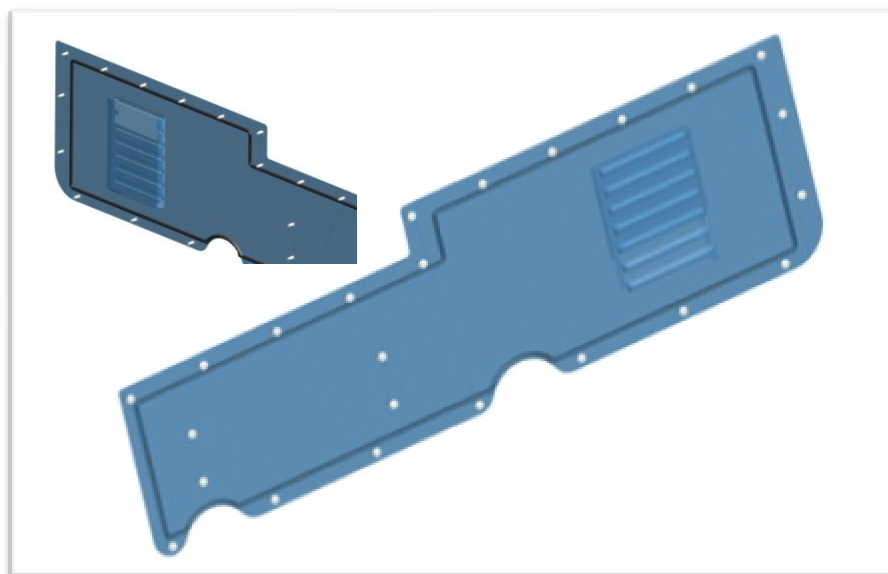
záležitosti nejsou součástí řešení diplomové práce a bylo by dobré je projednat s odborníkem přes řízení a elektroniku.



Obr. 42. Řídicí systém

5.2.6. Kryty

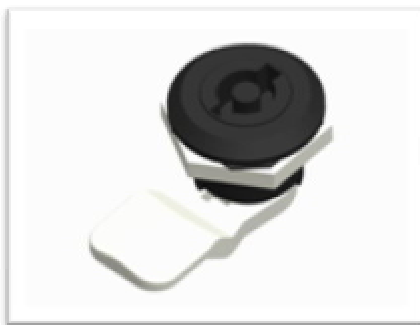
Nemalou pozornost bylo třeba věnovat krytování podvozku. Jedním z požadavků na konstrukci bylo chránit podvozek před prachem a vlhkostí, ale také využití ve venkovním prostředí, kryty podvozku by měly zabránit vniknutí stříkající vody. Tato vlastnost může být využita i při práci v zamořeném prostředí a následné dekontaminaci, například osprchováním celého podvozku.



Obr. 43. Boční kryt

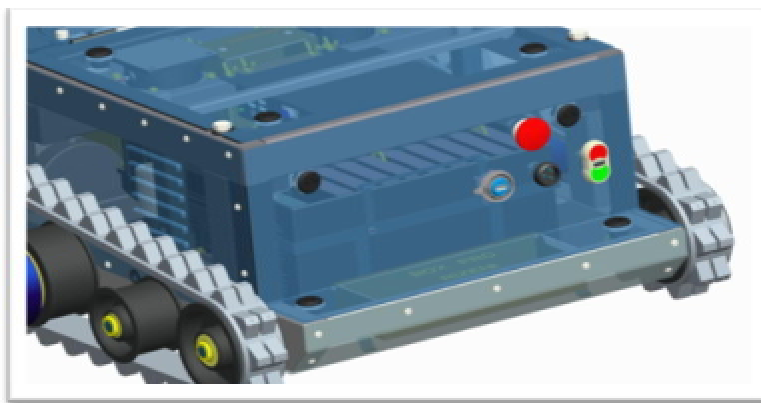
Kryty jsou navrženy z ocelového plechu o tloušťce 0,7 mm. Spodní, přední a boční kryty jsou k podvozku šroubovány. Je použito většího množství šroubků a nepředpokládá se nutnost časté demontáže. Boční kryty (Obr. 43.) jsou opatřeny otvory pro odvětrávání (žaluzie). V místě otvorů je navržena z vnitřní strany vanička pro zachycení tekutiny, která by mohla otvory projít.

Funkční kryty (přední vrchní kryt, středový kryt a zadní kryt) jsou opatřeny zámkem, které se používají na skříně elektrických rozvaděčů (Obr. 44.). Je třeba speciálního klíče, který snižuje možnost neoprávněného zásahu a jednoduchým pootočením demontuje zmíněné krytování.



Obr. 44. Zámek krytu

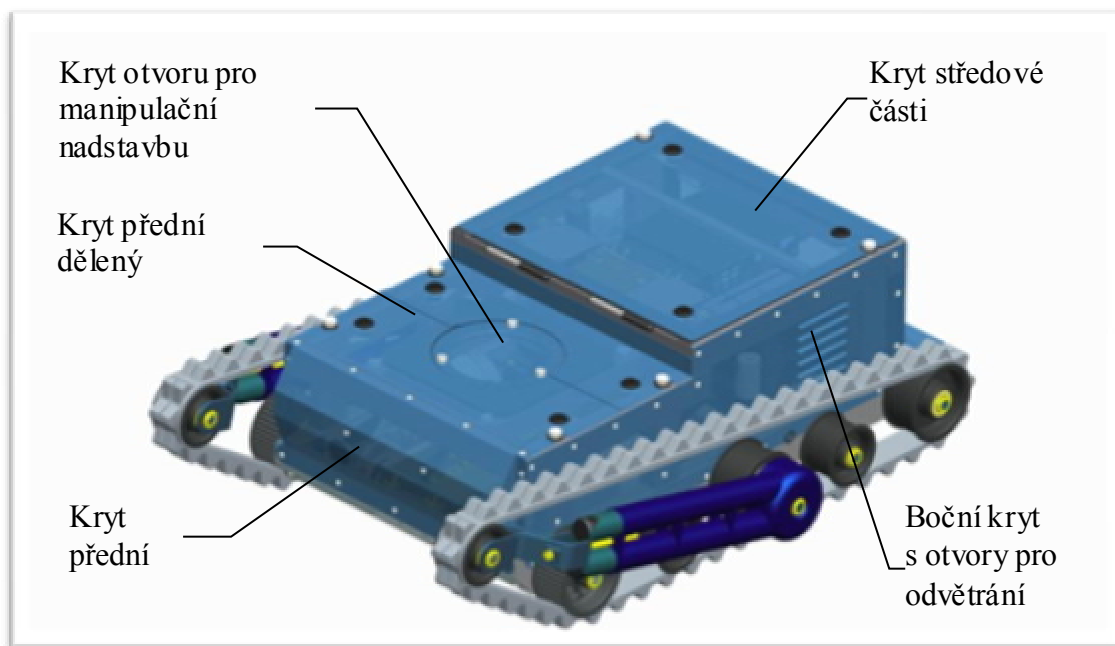
Zadní kryt (Obr. 45.) je navíc vybaven centrálním bezpečnostním tlačítkem, které v případě nutnosti zastaví pásový podvozek. Také tlačítka pro zapnutí a vypnutí, konektorem pro nabíjení akumulátoru a konektorem pro připojení USB kabelu, který umožňuje propojení s řídicím systémem. Toho je možno využít při změně či zásahu do softwaru bez nutnosti demontáže krytů.



Obr. 45. Zadní kryt

Přední vrchní kryt je navržen jako dělený, aby bylo možné v případě osazení podvozku manipulační nadstavbou toto krytování odejmout bez nutnosti demontáže celé nadstavby. Pokud nebude podvozek tím zařízením osazen, je manipulační deska opatřena krytem.

Náhled na kompletně zakrytý podvozek je na obrázku (Obr. 46.)

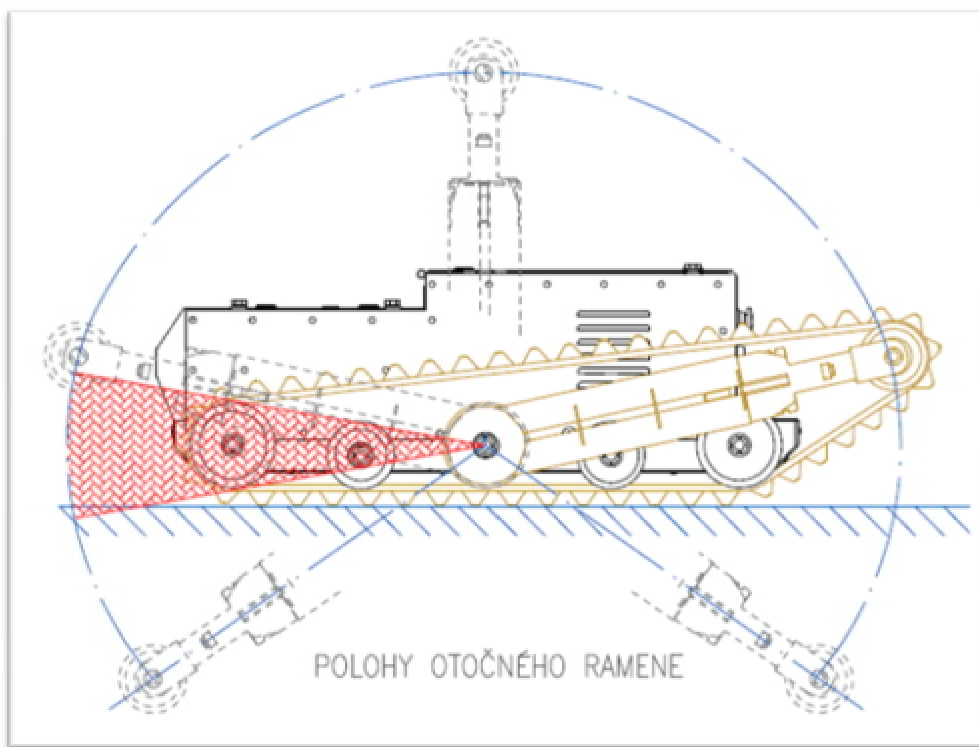


Obr. 46. Pásový podvozek s kryty

Všechny kryty jsou kvůli těsnosti po obvodu opatřeny těsnícím tmelem Rhodorseal 5661, který má po zaschnutí vlastnost pryže. Jedná se o silikonový tmel acetosylového typu vulkanizujícího při pokojové teplotě bez přidání katalyzátorů. Má výborné těsnící vlastnosti a dobrou přilnavost. Aplikuje se na čistý a odmaštěný povrch. [21]

5.3. PRACOVNÍ POLOHY OTOČNÉHO RAMENA

Otočné rameno by bylo možné otáčet o 360° . To je však zbytečné a v poloze -90° od vodorovné osy také nežádoucí silové účinky na konstrukci, manipulační nadstavbu a případné přepravované předměty. Mohlo by dokonce dojít k převrácení pásového podvozku. Z tohoto důvodu byl pracovní rozsah upraven, jak je vidět na obrázku (Obr. 47.), na 250° .



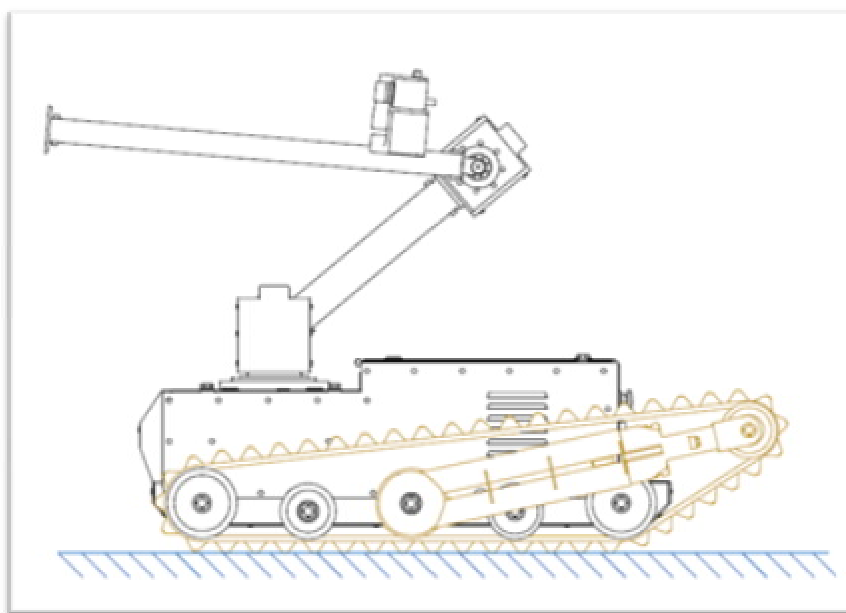
Obr. 47. Rozsah pohybu otočného ramene

Také je zakázán pohyb podvozku při vodorovné poloze ramena směrem k přední části (v obrázku červeně vyznačená výseč). Minimální úhel od tohoto nepříznivého stavu je $\pm 10^\circ$. V této oblasti je velmi malý úhel opásání a mohlo by dojít k proklouznutí pásu a také by docházelo k nadměrnému opotřebování a namáhání pryžového ozubení.

V podkapitole 5.4 jsou provedeny analýzy možných vzniklých situací při pohybu pásového podvozku a jejich doporučená řešení. Jedná se o pohyb po rovném terénu, nájezd na skokovou překážku a pohyb po schodišti.

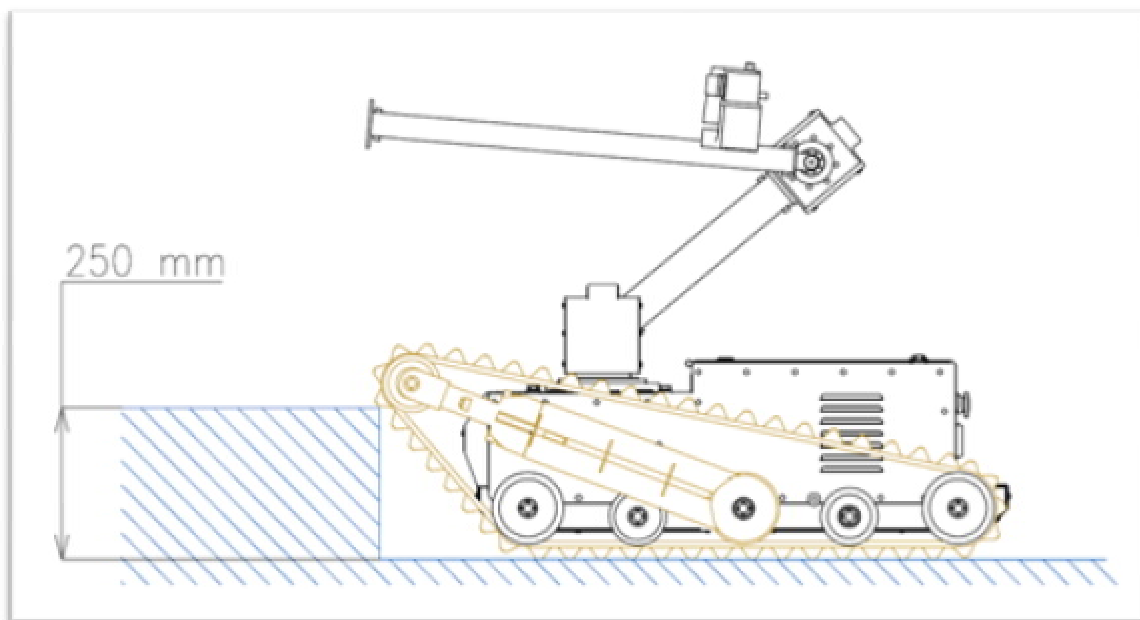
5.4. ANALÝZA POHYBU PÁSOVÉHO PODVOZKU

Při pohybu po rovném terénu, například silnice, průmyslové haly, chodby, se doporučuje, aby rameno bylo otočeno směrem dozadu (Obr. 48.). Této polohy může být využito i při mírných nerovnostech a pohybu po šikmé ploše, neboť je zde největší úhel opásání a dochází k nejlepšímu přenosu výkonu z řemenice na pás. Opotřebování zubů je nejpříznivější.



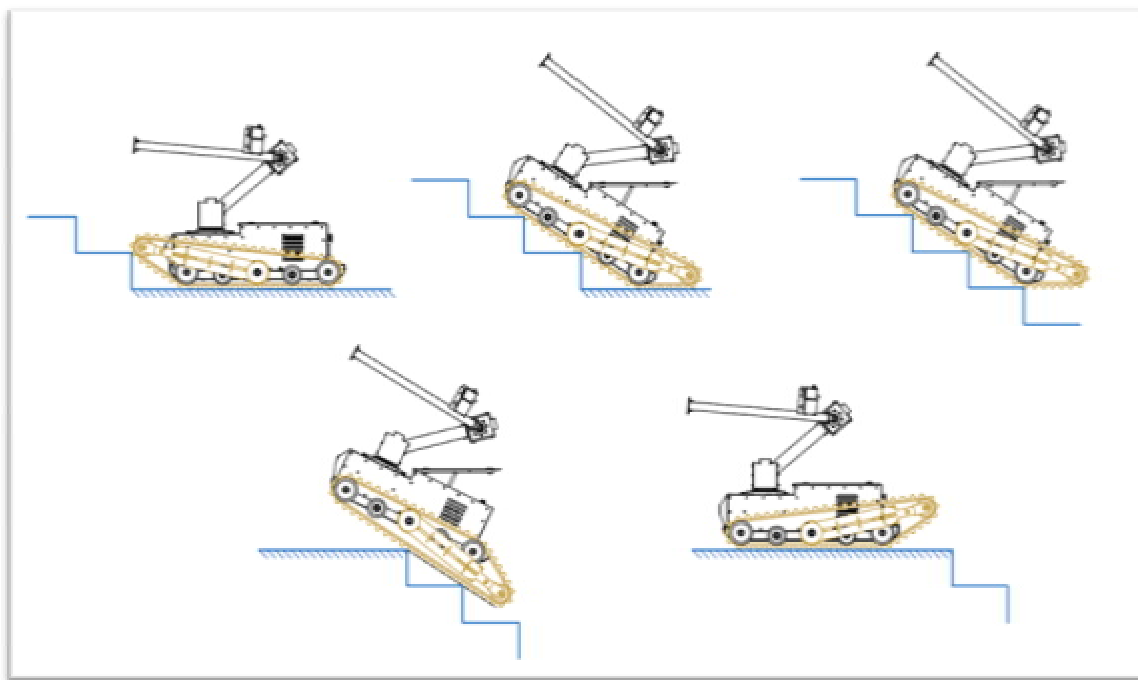
Obr. 48. Pohyb po rovném terénu a nakloněné rovině

Nájezd na skokovou překážku (Obr. 49.). Dle požadavkového listu je výška překonávané překážky 250 mm. Mohlo by se jednat například o silniční obrubník nebo vyšší betonový schodek vyskytující se běžně v zastavěných oblastech.



Obr. 49. Skoková překážka

Na obrázku (Obr. 50.) jsou ukázány polohy ramena při různých etapách pohybu po schodišti. První etapa je nájezd na schodiště, kdy úhel pásu kopíruje schody. V další etapě se pomocí otočení ramena zvětší styková plocha mezi pásem a schodištěm (podlahou). Pak následuje jízda po schodišti a nakonec ukončení schodiště a přechod na podestu.



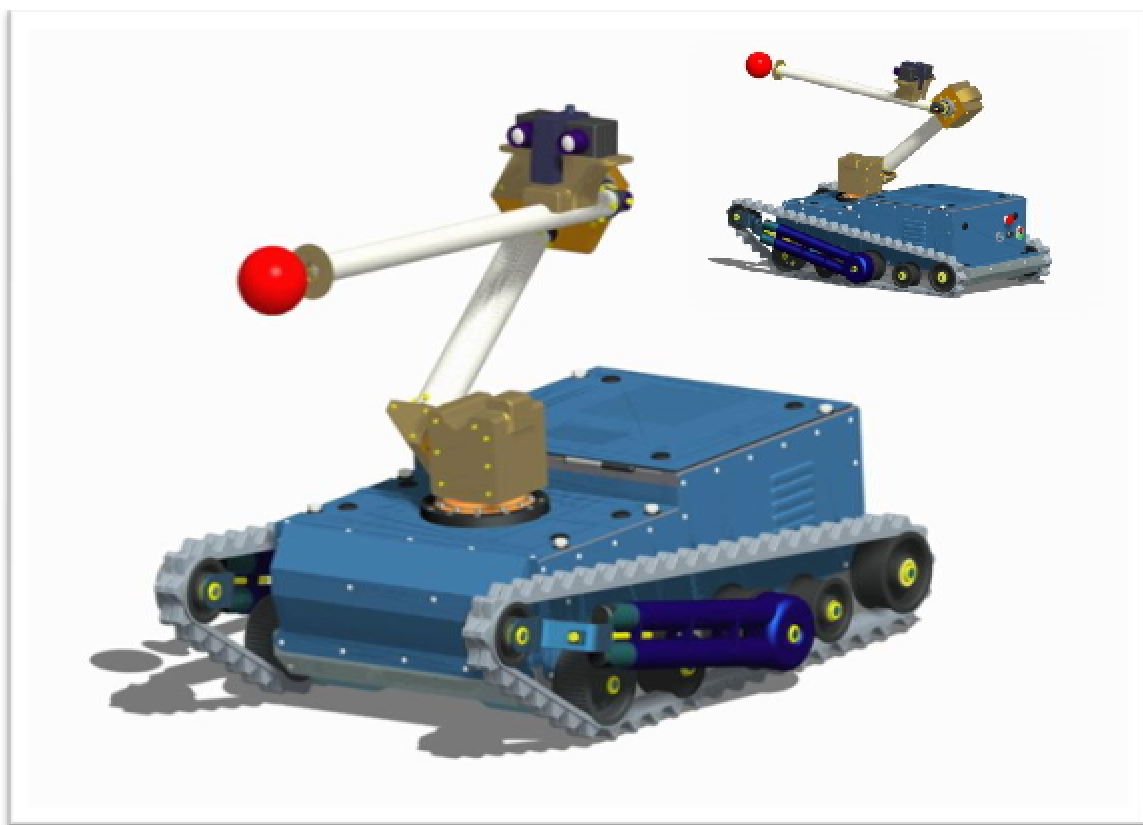
Obr. 50. Rozfázovaný pohyb po schodišti

Jelikož má podvozek malý průjezdný profil (prostor mezi podlahou a spodním krytem), není vyloučeno uvíznutí. V takovém případě je nutno nadzvednou přední část (zadní) pomocí ramena, vrátit se zpět a nerovnost objet.

Pokud dojde k jiné nepředpokládané situaci, je na operátorovi, aby na základě zkušeností a svého nejlepšího přesvědčení reagoval a zabránil tak poškození či uvíznutí mobilního podvozku.

5.5. MOŽNÁ VYUŽITÍ A VYLEPŠENÍ

Možné využití pásového podvozku již bylo zmíněno v kapitole 3.2, kdy byly vytipovány servisní úlohy a činnosti, na které by se dal pásový podvozek s proměnnou kinematikou rámu využít. Jednalo se o činnosti manipulační, technologické a netechnologické. Pro všechny typy úloh je třeba podvozek osadit dalším přídavným zařízením. Pro většinu činností je zapotřebí manipulační nadstavba (ukázka robotu s osazenou manipulační nadstavbou (Obr. 51.), která může být opatřena uchopovacím efektoem, technologickým efektoem nebo jen vizuálním subsystémem pro monitorovací účely.

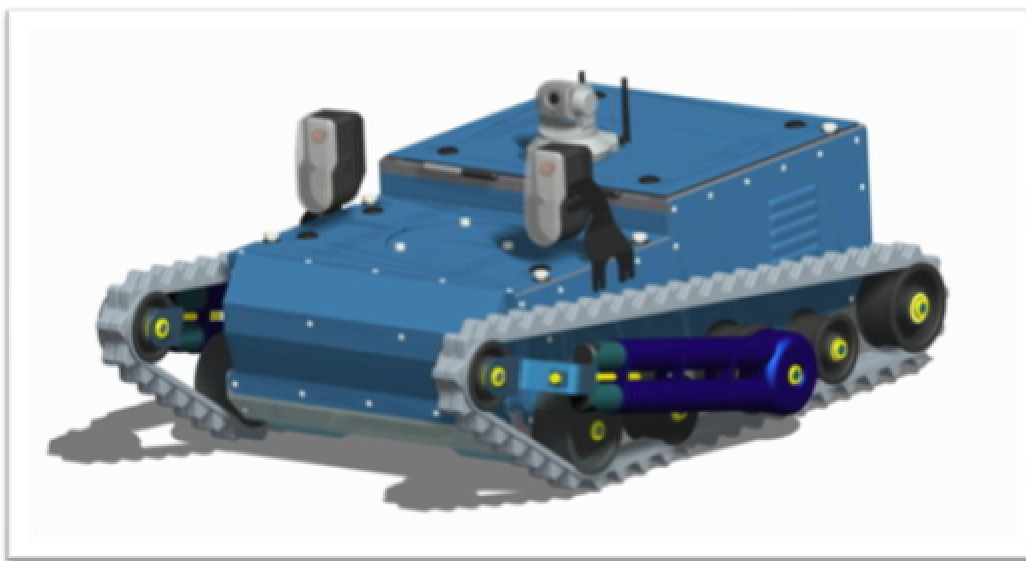


Obr. 51. Pásový podvozek s manipulační nadstavbou

Pásový podvozek je tedy potřeba doplnit takovým zařízením, aby bylo možné provádět vytipované servisní úkoly (manipulační nadstavba, zařízení pro odběr vzorků, zásobník pro uložení vzorků, systém pro shromažďování 3D dat a další).

Dále nebylo v diplomové práci řešeno řízení podvozku, jeho osazení vhodným senzorickým a kamerovým subsystémem. Podvozek by měl být dále osazen osvětlením, aby se rozšířila možnost jeho nasazení i při snížené viditelnosti. Ukázka podvozku osazeného párem světlem a model malé kamery je na obrázku (Obr. 52).

Výše zmíněné požadavky na využitelnost podvozku by mohly být podkladem pro další diplomové nebo bakalářské práce.



Obr. 52. Pásový podvozek s osvětlením

Co se týká vylepšení stávající konstrukce, bylo by třeba zvážit po provedení funkčních testů osazení otočného ramena například lineárním pohonem, který by prováděl napínání pásu a umožňoval posun pohyblivé části při otáčení. Avšak i tato myšlenka má své nevýhody. Například rázy, kterým by pohon byl vystaven, další energetické nároky a značná složitost řízení.

Zadní část podvozku by se mohla opatřit mechanismem pro nakládání a vykládání reklanzačních stanic, díky kterým by bylo možné ovládat robot i ve vnitřních prostorách a sklepeních, kde běžně řídicí signál nepronikne. Dále lze navrhnout nadstavbové moduly s vyrovnáváním nejen středové části, ale celé horní plošiny, a to i ve více osách najednou, pro pohyb i napříč svahe.

Je zde možnost celá řada zlepšení, je však třeba přesně specifikovat servisní činnost a z ní vyplývající požadavky na konstrukci.

6. POKYNY

6.1. POKYNY PRO VÝROBU

Vzhledem k rozsáhlosti navrhované konstrukce zde uvedu jen hlavní důležité informace. Všechny části rámu je nutno nejprve bodově svařit, pak postupně sešroubovat desku manipulátoru, nadstavbový rám a hlavní rám dohromady a kompletně zavařit. Následně doporučuji, z důvodu velkého množství svarů, sestavený rám vyžít a až potom načisto obrobit přivařené vložky nábojů. Obdobným způsobem provést výrobu otočného ramene. Postupně složit všechny komponenty pásového podvozku. Otvory pro nýtovací matice vrtat až při montáži krytů. Všechny funkční plochy při montáži mazat. Po sestavení podvozku dojde k provedení funkčních testů. Jelikož se jedná o vývoj nové konstrukce, odstraní se nedostatky, které se při výrobě jistě objeví, až dojde k opětovnému rozebrání. Následuje otryskání rámu pískem a provede se povrchová úprava.

Povrchová úprava bude dvojího typu. Svařený rám bude galvanicky pozinkován a následně opatřen vrstvou komaxitu. Kryty a další komponenty budou nakomaxitovány.

6.2. POKYNY PRO OBSLUHU

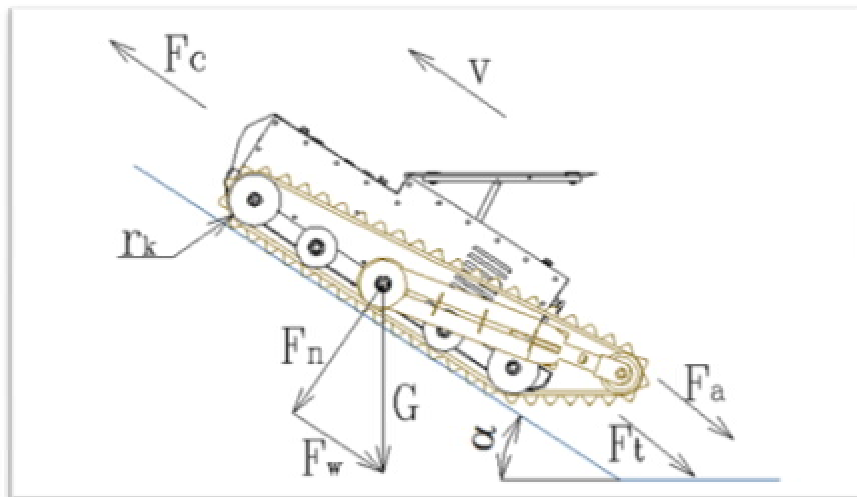
Pro uvedení podvozku do provozu je nutné sepnou spínač umístěný na zadním krytu. Před výjezdem je třeba zkontrolovat stav dobití akumulátoru, aby nedošlo k uvíznutí podvozku. V pravidelných intervalech je třeba kontrolovat namazání funkčních ploch a těsnost obvodu s hydraulickou kapalinou. Případné vnější nečistoty odstranit. Dodržovat pokyny výrobce hydraulické kapaliny a pravidelně ji měnit. Dodavatel řídicího softwaru dodá instrukce pro bezpečnou obsluhu zařízení.

6.3. POKYNY PRO BEZPEČNOST

Je nutné mít na paměti, že se jedná o pohybující se zařízení a v okamžiku, kdy je provozováno, dbát zvýšené opatrnosti. Řídit se všemi předpisy a dodržovat omezení, které budou sepsány a dodány spolu s pásovým podvozkem. Jako všechna elektrická zařízení, je i toto vybaveno bezpečnostním tlačítkem pro okamžité vyřazení z provozu. Centrální stop tlačítko je umístěno ve vrchní části zadního krytu.

7. TECHNICKÁ ZPRÁVA A VÝPOČTY

7.1. NÁVRH HNACÍHO POHONU



Obr. 53. Určení reakcí

VSTUPNÍ PARAMETRY PRO NÁVRH POHONU

○ Rychlost	$v = 0,833 \text{ m.s}^{-1}$
○ Zrychlení	$a = 0,5 \text{ m.s}^{-2}$
○ Hmotnost podvozku	$m = 178,2 \text{ kg}$
○ Poloměr poháněného kola	$r_k = 55 \text{ mm} = 0,055 \text{ m}$
○ Sklon jízdní dráhy	$\alpha = 35^\circ$
○ Trakční součinitel tření	$\mu = 0,3$
○ Hmotnost poháněného kola	$m_K = 1,54 \text{ kg}$

- Celková potřebná síla pro pohyb robotu

$$F_c = F_f + F_w + F_a + F_s \text{ [N]} \quad (1)$$

- Třecí odpory

$$F_f = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \text{ [N]} \quad (2)$$

- Síla potřebná k překonání výškového rozdílu

$$F_w = m \cdot g \cdot \sin(\alpha) \text{ [N]} \quad (3)$$

- Odpor způsobený setrvačností posuvných hmot

$$F_a = m \cdot a \text{ [N]} \quad (4)$$

- Odpor způsobený setrvačností rotujících hmot

$$F_s = \frac{1}{r_k} \cdot Jc^\varepsilon \text{ [N]} \quad (5)$$

- Celkový moment setrvačnosti

$$J_C = J_{M \rightarrow K} + J_P + J_K \text{ [kg.m}^2\text{]} \quad (6)$$

- Moment setrvačnosti vztahený k výstupu (přes převodovku k hnacímu kolu)

$$J_{M \rightarrow K} = J_M \cdot i^2 \text{ [kg.m}^2\text{]} \quad (7)$$

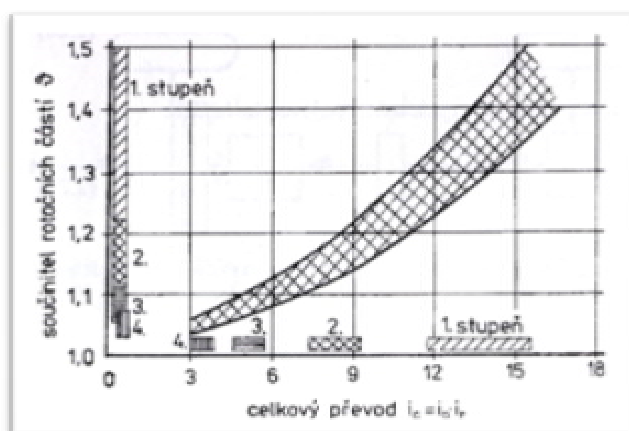
- Vyjádřená celková potřebná síla pro pohyb:

$$F_C = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha) + m \cdot g \cdot \sin(\alpha) + m \cdot a + \frac{1}{r} \cdot Jc^\varepsilon \text{ [N]} \quad (8)$$

Po úpravě:

$$F_C = m \cdot g \cdot \left(\mu \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha) + \frac{a}{g} \right) + \frac{1}{r} \cdot Jc^\varepsilon \text{ [N]} \quad (9)$$

Při výpočtu nemůžeme hned určit moment setrvačnosti rotujících hmot, využívá se proto zjednodušený výpočet doplněný o bezrozměrný koeficient ϑ , zvolený z diagramu na obrázku Obr. 53. [12]



Obr. 54. Diagram Součinitele rotačních částí ϑ [12]

Následně se dosadí součinitel ϑ do vztahu (9). Potřebnou sílu pak určíme za vzorce:

$$F_C = m \cdot g \cdot \left(\mu \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha) + \frac{a}{g} \cdot \vartheta \right) [N] \quad (10)$$

Dosazením do vztahu (10) :

$$F_C = 178,2 \cdot 9,807 \cdot \left(0,3 \cdot \cos(35) + \sin(35) + \frac{0,5}{9,807} \cdot 1,25 \right)$$

$$\underline{F_C = 1543,23 \text{ N}}$$

Další úpravou vztahu (10) dostaneme vztah pro předběžný výkon:

$$P_m = F_C \cdot v [W] \quad (11)$$

Dosazením do vztahu (11) :

$$P_m = 1543,23 \cdot 0,833$$

$$\underline{P_m = 1285,51 \text{ W}}$$

U vypočteného předběžného výkonu není zahrnuta účinnost motoru, převodovky, není nepřesně stanovena hodnota trakčního součinitele tření μ a součinitele rotačních odporů ϑ . Z tohoto důvodu vypočtený výkon zvětšíme o bezpečnostní koeficient k_B . Koeficient volím $k_B = 1,4$.

Upravený výkon (11) koeficientem k_B :

$$P_m' = P_m \cdot k_B = 1285,51 \cdot 1,4 = 1799,71 \text{ W} \quad (12)$$

Z důvodu dvou hnacích pohonů se výkon (12) rozdělí:

$$P_{m1} = \frac{P_m'}{2} = \frac{1799,71}{2} = 899,85 \text{ W} \quad (13)$$

Požadovaný moment na jedno poháněné kolo z výkonu (12):

$$M_K = \frac{P_m' \cdot r}{2 \cdot v} = \frac{1799,71 \cdot 0,055}{2 \cdot 0,833} = 59,41 \text{ Nm} \quad (14)$$

Požadované otáčky na výstupu z převodovky:

$$n = \frac{v}{r \cdot 2 \cdot \pi} \cdot 60 = \frac{0,833}{0,055 \cdot 2 \cdot \pi} \cdot 60 = 144,62 \text{ min}^{-1} \quad (15)$$

Na základě provedených předběžných výpočtů byly získány parametry pro výběr hnacího pohonu:

$$M_K = 59,41 \text{ Nm}$$

$$n = 144,62 \cong 144 \text{ min}^{-1}$$

$$P_{ml} = 899,85 \cong 900 \text{ W}$$

Po konzultaci s panem Ing. Slabým s firmy Elektropohony spol. s r. o. jsme společně vybrali nejlevnější variantu pohon od firmy AMER a šnekovou převodovku VARVEL. Vzhledem k požadovaným minimálním rozměrům, hmotnosti a uvažáním účelu použití byl vybrán motor a převodovka s následujícími parametry: [22,32]

$$\text{MP 100 - B14 - 950 - 48}$$

$$P = 1,02 \text{ KW}$$

$$M = 7 \text{ Nm}$$

$$U = 48 \text{ V}$$

$$n = 1400 \text{ min}^{-1}$$

$$m_M = 4,65 \text{ kg}$$

$$\eta_M = 85 \%$$

$$J_M = 0,00027 \text{ kg.m}^2$$

$$\text{F - RS40 - B3 - 10 - DC17 - B14}$$

$$M_{NOM} = 46 \text{ Nm}$$

$$M_{MAX} = 72 \text{ Nm}$$

$$i = 10$$

$$n_{MAX} = 140 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$m_P = 2,5 \text{ kg}$$

$$\eta_P = 83 \%$$

$$J_P = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

7.2. KONTROLA HNACÍHO POHONU

Z výše uvedených parametrů motoru a převodovky jsou momenty setrvačnosti J_M a J_P dosazeny do následujících vztahů.

Ze vztahu (7) :

$$J_{M \rightarrow K} = J_M \cdot i^2 \left[\text{kg.m}^{-2} \right] \quad (16)$$

$$J_{M \rightarrow K} = 0,00027 \cdot 10^2 = 0,027 \text{ kg.m}^2$$

Moment setrvačnosti poháněného kola (odečteno z Pro/Engineer):

$$J_K = 0,0029 \text{ kg.m}^2 \quad (17)$$

Dosazením do vztahu (6) získáme celkový moment setrvačnosti:

$$J_C = 0,027 + 0,00015 + 0,0029 = 3,005 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \quad (18)$$

Jelikož pohon robotu je tvořen dvěma pohony je síla F_S dvojnásobná, proto vztah (18) upravíme:

$$J_{C2} = J_C \cdot 2 = 6,01 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \quad (19)$$

Výpočet celkové účinnosti:

$$\eta_C = \eta_M \cdot \eta_P = 0,85 \cdot 0,83 = 0,705 = 70,5\% \quad (20)$$

Výpočet uhlového zrychlení:

$$\varepsilon = \frac{a}{r_k} = \frac{0,5}{0,055} = 9,091 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (21)$$

Dosazením do vztahu (9) a (11) dostaneme:

$$P_m = 1316,38 \text{ W} \quad (22)$$

Vypočítaný výkon (22) upravíme účinností (20):

$$P_{m2} = \frac{P_m}{\eta_C} = \frac{1316,38}{0,705} = 1867,2 \text{ W} \quad (23)$$

Vypočtený výkon (23) je pro dva pohony, proto je upravíme:

$$P_{m3} = \frac{P_{m2}}{2} = \frac{1867,2}{2} = 933,6 \text{ W} \quad (24)$$

Vypočtenému výkonu (24) odpovídá pro danou rychlost tento moment M_K :

$$M_K = \frac{P_{m3} \cdot r_k}{v} = \frac{933,6 \cdot 0,055}{0,833} = 61,6 \text{ Nm} \quad (25)$$

Porovnáním parametrů vybraného pohonu a parametrů zahrnující momenty setrvačnosti a účinnosti (motoru, převodovky, kola), je patrné, že daný pohon VYHOVUJE.

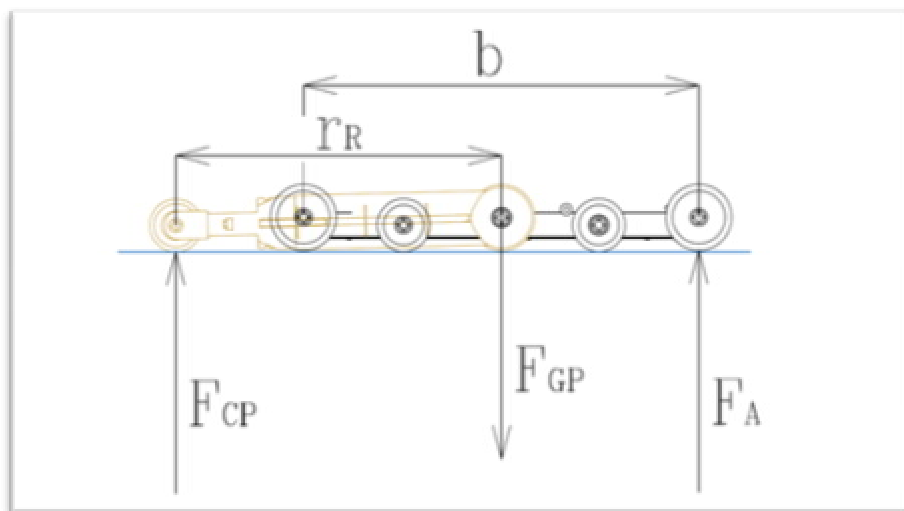
Pokud provedeme přepočet pro pohyb po rovném terénu ($\alpha = 0^\circ$). Vypočtený potřebný krouticí moment je pak $M_K = 26,2 \text{ Nm}$.

Bylo by možné použít převodovku a motor s otáčkami 2800 min^{-1} . Převodovka má nominální krouticí moment ($M_{NOM} = 34 \text{ Nm}$), což by pro pohyb po rovině dostačovalo a umožnilo tak dosažení vyšší rychlosti, avšak maximální moment ($M_{MAX} = 58 \text{ Nm}$), to by mělo za následek snížení rychlosti při překonávání překážek. Domnívám se, že toto omezení by nevadilo, je však třeba před realizací tuto možnost probrat se zadavatelem.

7.3. PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH POHONU PRO OTOČNÉ RAMENO

VSTUPNÍ PARAMETRY PRO NÁVRH POHONU

- Čas rozběhu ramene $t_r = 0,5 \text{ s}$
- Hmotnost podvozku $m = 178,2 \text{ kg}$
- Délka otočného ramene $r_R = 590 \text{ mm} = 0,59 \text{ m}$
- Vzdálenost mezi hnacím a zadním kolem $b = 710 \text{ mm} = 0,71 \text{ m}$
- Předpokládané otáčky ramene $n = 50 \text{ min}^{-1}$
- Moment setrvačnosti ramene $J_R = 0,489 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$



Obr. 55. Určení reakcí otočného ramene

Předběžný výpočet pohonu ramene se provede pro nejkritičtější případ, kdy je rameno ve vodorovné poloze a začíná nadzvedávat celou konstrukci pásového podvozku. V tu dobu je třeba vyvinout největší krouticí moment (Obr. 53.).

VÝPOČET SIL A KROUTICÍHO MOMENTU:

Tíhová síla podvozku F_{GP} :

$$F_{GP} = m \cdot g = 178,2 \cdot 9,807 = 1747,61 \text{ N} \quad (26)$$

Z momentové podmínky $M=0$ je určena celková síla F_{CP} :

$$F_{CP} = \frac{F_{GP} \cdot \frac{b}{2}}{r_R + \frac{b}{2}} = \frac{1747,61 \cdot \frac{0,71}{2}}{0,59 + \frac{0,71}{2}} = 656,51 \text{ N} \quad (27)$$

Síla v podpoře A:

$$F_A = F_{GP} - F_{CP} = 1747,61 - 656,51 = 1091,1 \text{ N} \quad (28)$$

Krouticí moment potřebný pro nadzvednutí podvozku:

$$M_{KR} = F_{CP} \cdot r_R = 656,51 \cdot 0,59 = 387,34 \text{ Nm} \quad (29)$$

Jelikož máme pro každé rameno jeden pohon, rozdělíme i krouticí moment:

$$M_{KR}' = \frac{M_{KR}}{2} = \frac{387,34}{2} = 193,67 \text{ Nm} \quad (30)$$

Při pohybu ramene, kdy dochází jen ke změně geometrie pásu a není nadzvedáván celý podvozek, předpokládám krouticí moment, který je třeba překonat $M_{KR}' = 50 \text{ Nm}$.

Je třeba provést měření a testování na vyrobeném prototypu. Na základě těchto testů se určí odpor pásu při otáčení, který je třeba zavést do výpočtů. Na základě zjištěných údajů se provede dodatečná kontrola pohonu.

Po otočné rameno navrhují motor od společnosti *Allied Motion Companies* a planetovou převodovku od firmy *APEX DYNAMICS, INC.* s následujícími parametry: [23,28]

QB03402

AF060 - 025 - P040/NEMA3 4

$$M_{CONST} = 2,32 \text{ Nm}$$

$$M_{NOM} = 68 \text{ Nm}$$

$$M_{MAX} = 16,2 \text{ Nm}$$

$$M_{MAX} = 204 \text{ Nm}$$

$$U = 40 \text{ V}$$

$$i = 25$$

$$n = 1913 \text{ min}^{-1}$$

$$Krytí = IP65$$

$$m_M = 2,92 \text{ kg}$$

$$m_P = 1,5 \text{ kg}$$

$$\eta_M = 90 \%$$

$$\eta_P = 94 \%$$

$$J_M = 0,00015 \text{ kg.m}^2$$

$$J_P = 0,03 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

Výpočet celkové účinnosti pohonu:

$$\eta_C = \eta_M \cdot \eta_P = 0,9 \cdot 0,94 = 0,846 = 84,6\% \quad (31)$$

Moment setrvačnosti vztažený k výstupu (přes převodovku k otočnému rameni)

$$J_{M \rightarrow R} = J_M \cdot i^2 \text{ [kg.m}^{-2}\text{]} \quad (32)$$

$$J_{M \rightarrow R} = 0,00015 \cdot 25^2 = 0,09375 \text{ kg.m}^2$$

Moment setrvačnosti otočného ramene (odečteno z Pro/Engineer):

$$J_R = 0,489 \text{ kg.m}^2 \quad (33)$$

Celkový moment setrvačnosti

$$J_C = J_{M \rightarrow R} + J_P + J_R \text{ [kg.m}^{-2}\text{]} \quad (34)$$

$$J_C = 0,019375 + 0,03 \cdot 10^{-4} + 0,489 = 0,583 \text{ kg.m}^{-2}$$

Úhlová rychlost:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{60} = 5,24 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (35)$$

Úhlové zrychlení:

$$\varepsilon = \frac{\omega}{t_r} = \frac{5,24}{0,5} = 10,48 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2} \quad (36)$$

Krouticí moment ramene bez nutnosti nadzvednutí pásového podvozku:

$$M_{KR1} = \frac{J_C \cdot \varepsilon}{\eta_C} \cdot k_P = \frac{0,583 \cdot 10,48}{0,846} \cdot 6 = 43,33 \text{ Nm} \quad (37)$$

Zvoleným koeficientem $k_p = 6$ je do výpočtu zahrnut odpor pásu, který zde při otáčení ramene působí. Jak již bylo zmíněno výše, je třeba provést měření a tento odpor do výpočtu zahrnout.

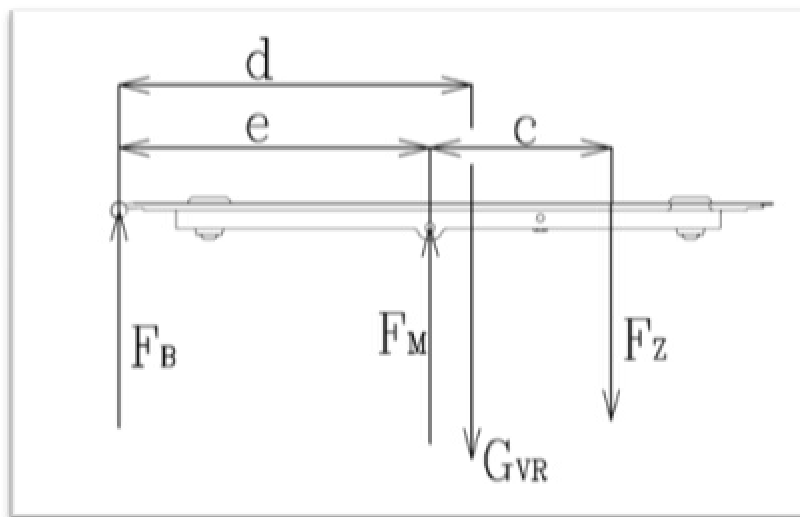
Nominální krouticí moment motoru:

$$M_{KM} = \frac{M_{KR1}}{i} = \frac{43,33}{25} = 1,73 \text{ Nm} \quad (38)$$

Porovnáním parametrů vybraného pohonu a parametrů zahrnující momenty setrvačnosti a účinnosti (motoru, převodovky, ramene), je patrné, že daný pohon po předběžném výpočtu VYHOVUJE.

7.4. NÁVRH POHONU PRO VYROVNÁVACÍ MECHANISMUS

Středovou výklopnou část podvozku je možno zatížit 30 kg. Pro dimenzování pohonu předpokládáme, že zatížení bude dále od bodu otáčené (Obr. 54.).



Obr. 56. Určení reakcí výklopné části

VSTUPNÍ PARAMETRY PRO NÁVRH POHONU

- Hmotnost zátěže $m_{OM} = 30 \text{ kg}$
- Hmotnost výklopného rámu $m_{VR} = 2,75 \text{ kg}$

- Vzdálenost působení pístu pohonu od osy otáčení $e = 0,207 \text{ m}$
- Vzdálenost mezi pístem a zatěžující silou $c = 0,075 \text{ m}$
- Vzdálenost těžiště výklopného rámu od osy otáčení $d = 0,215 \text{ m}$

Výpočet zatěžující síly:

$$F_Z = m_{OM} \cdot g = 302 \cdot 9,807 = 294,21 \text{ N} \quad (39)$$

Výpočet tíhy výklopného rámu:

$$G_{VR} = m_{VR} \cdot g = 2,75 \cdot 9,807 = 26,97 \text{ N} \quad (40)$$

Z momentové podmínky $M=0$ je určena celková síla motoru F_M :

$$F_M = \frac{F_Z \cdot (e + c) + G_{VR} \cdot d}{e} \quad (41)$$
$$F_M = \frac{294,21 \cdot (0,207 + 0,075) + 26,97 \cdot 0,215}{0,207} = 428,82 \text{ N}$$

Pro vyklápění středové části jsou použity dva pohony, rozdělíme tedy sílu F_M a dostaneme potřebnou sílu pro jeden lineární pohon:

$$F_M' = \frac{F_M}{2} = \frac{428,82}{2} = 214,41 \text{ Nm} \quad (42)$$

Na základě vypočtené síly, kterou je nutno vyvodit pro vyklopení středové části podvozku volím lineární s mini převodovkou od firmy TEA Technik s maximálním zatížením 600 N, se zdvihem 105mm a rychlostí zdvihu 20 mm/s. DC motor je napájen 36 V. Hmotnost pohonu je 0,4 kg. Zvolený pohon VYHOVUJE. [24]

Vzhledem k velké síle, kterou vyvolá lineární pohon, je možnost posunout zátěž středové části dále od osy otáčení než bylo uvažováno ve výpočtu.

Další provedené výpočty vybraných konstrukčních prvků jsou zařazeny do příloh diplomové práce.

8. ZÁVĚR

Diplomová práce byla zpracována na základě kladených požadavků. Obsah a výsledky práce odpovídají zadání. Nejprve byla provedena analýza a základní rozdělení servisních robotů a ukázka vybraných stávajících konstrukcí pásových robotů a zařízení zdolávající schody.

Byl sestaven požadavkový list, vytipovány možné servisní činnosti a navrženy tři varianty řešení. Pomocí optimalizační metody, kde se u vybraných kritérií určí jejich významnost metodou trojúhelníku párů a provede vyhodnocení, byla vybrána nejvhodnější varianta. Tato varianta byla dále konstrukčně zpracována. Byly provedeny základní pevnostní a návrhové výpočty vybraných konstrukčních prvků a uzlů. Závěrem je uvedena analýza pohybu a také možná vylepšení a využití pásového podvozku s proměnnou kinematikou rámu.

Byl navržen pásový podvozek s proměnou geometrií pásu k usnadnění pohybu v rozmanitých podmínkách. Na základě konzultací s vedoucím diplomové práce jsem se zaměřil na využití v městském prostředí (pohyb po mírně svažitém terénu, překonávání skokových překážek do výšky 250 mm, schodů, pohyb v budovách, ...).

Podvozek je možno osadit manipulační nadstavbou, pro kterou je připravena připojovací příruba v přední části. Maximální zatížení přední části je 25 kg, středové pak 30 kg. Pohony pásového podvozku jsou dimenzovány na maximální zatížení 50 kg pro stoupaní do schodů. Při pohybu po rovném terénu je možné podvozek zatížit podstatně víc. Při testování funkčního prototypu, který je osazen stejným typem hnacího pohonu, došlo k zatížení 250 kg. Při této zátěži byl pohyb podvozku bez jakýchkoliv problémů.

Nemalá pozornost byla věnována zakrytí a utěsnění, aby bylo možno využít podvozek i v případě nepříznivého počasí nebo dekontaminovat (omýt) vodní sprchou. Byla navržena výklopná středová část kolem jedné osy. Tato funkce nejde využívat, pokud je podvozek vystaven stříkající kapalině, neboť při vyklopení není vnitřní prostor utěsněn.

Zbývá navrhnout řídicí systém, doplnit podvozek o elektronické komponenty jako jsou sklonoměr pro určení náklonu, teploměr pro měření vnitřní teploty, osvětlení, senzorický subsystém, vizuální subsystém a také je možno rozšířit řady nadstavbových

modulů a umožnit větší využitelnost navrhnuté konstrukce. Tyto náměty mohou sloužit jako podněty pro řešení dalších diplomových a bakalářských prací.

Práce vychází z poznatků, které byly získány při vývoji konstrukce pásového podvozku na katedře robototechniky fakulty strojní VŠB - TU Ostrava. Informace a podklady pro diplomovou práci, kterých zde bylo využito, mají reálný podklad ve zmíněné výzkumné činnosti a velká část se opírá o zde získané praktické zkušenosti. Na vyrobeném prototypu bylo možno ověřit, že navržené komponenty jako jsou hřídele, tenkostěnné profily, náboje kol, podpěrná kola, hnací pohon a další, jsou vyhovující pro obdobný typ konstrukce.

Z řešené práce vznikla také publikace s názvem *Aplikace prototypu pásového mobilního robotu v městském prostředí*, která je nyní v tisku a bude uvedena na konferenci ROBTEP 2010 na Slovensku.

Domnívám se, že možnost nasazení a uplatnění navržené konstrukce pásového podvozku jsou v mnoha různých odvětvích. Bylo by třeba vyvinout funkční prototyp, vystavit konstrukci řadě testů a měření. Dořešit zmíněnou elektronickou část a doplnit o funkční zařízení dle činnosti uplatnění. V budoucnu očekávám možný další rozvoj v oblasti servisní robotiky a expanzi obdobných zařízení pro rozmanité aplikace.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITARATURY A ZDROJŮ

- [1] KÁRNÍK, Ladislav. *Servisní roboty*. VŠB - Technická univerzita Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2004. 144 s. ISBN 80-248-06-6.
- [2] KÁRNÍK, Ladislav, KNOFLÍČEK, Radek, NOVÁK-MARCINČIN, Jozef. *Mobilní roboty*. 1. vyd. Opava: Márfy slezsko, 2000. 212 s. ISBN 80-902746-2-5.
- [3] SKAŘUPA, Jiří. *Průmyslové roboty a manipulátory: učební text*. 1. vyd. VŠB - Technická univerzita Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2007. 260 s. ISBN 978-80-248-1522-0.
- [4] LEINVEBER, Jan, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. aktualiz. vyd. Úvaly: Albra, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7
- [5] KONEČNÝ, Zdeněk; KRYŠ, Václav. *CAD III - Pevnostní analýzy: multimediální učební text* [online]. 2007 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://robot.vsb.cz/skripta>>. ISBN 978-80-248-1513-8.
- [6] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře*. VŠB - Technická univerzita Ostrava: Ediční středisko VŠB – TUO, 2004, 144 s. ISBN 978 –80 – 248 – 1290 – 8
- [7] BOHÁČEK, František, et al. *Části a mechanismy strojů I: Základy konstruování, Spoje*. 2. dopl. vyd. Brno: Rektorát vysokého učení technického v brně, 1984. 319 s. ISBN 55-574-84.
- [8] BOHÁČEK, František, et al. *Části a mechanismy strojů II: Hřídele, tribologie, ložiska*. 2. upr. vyd. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1987. 215 s. ISBN 55-581-87
- [9] KONEČNÝ, Zdeněk. *Základy technické dokumentace*. Ostrava: VŠB v Ostravě, 2004. 86s. ISBN 80-248-0514-6.
- [10] SKAŘUPA, Jiří. *Metodika konstruování*. 1. vyd. Ostrava: VŠB v Ostravě, 1993. 149s. Fakulta strojní. ISBN 80-7078-167-X.
- [11] ŠOLC, František; ŽALUD, Luděk. *Robotika* [online]. Brno: FEKT VUT v Brně, 1. 10. 2002 [cit. 2010-01-04]. Dostupné z WWW: <http://matescb.skvorsma.lt.cz/robotika_kybernetika/VUT_Brno_Robotika.pdf>.

- [12] NOVÁK, Pert. *Mobilní roboty: pohony, senzory, řízení*. 1. vyd. Praha: BEN, 2005. 248 s. ISBN 80-7300-141-1.
- [13] KÁRNÍK, Ladislav, STUDÉNKA, Marek. *Practical Usage of Prototype of Modular Belt Locomotive Mechanism*. Acta Mechanica Slovaca. 2009, vol. 13, no. 2-A, pp. 83-86. ISSN 1335-2393.
- [14] KÁRNÍK, Ladislav. *The Funkcional Prototype of Belt Mobile Robot*. Acta Mechanica Slovaca. 2010, vol. 1, no. 2-A,
- [15] KÁRNÍK, Ladislav. *The Prototype of Modular Robots for Manipulation Task, Monitoring and 3d Metrical Data Capturing*. Metalurgia. 2010, vol. 49, no. 2, pp. 315-319. ISSN 0543-5846.
- [16] *Joystick sony* [online]. 2009 [cit. 2010-02-16]. Dostupný z WWW: <http://img.diytrade.com/cdimg/813197/7409332/0/1226934991/PS2_Dualshock_Joystick.jpg>.
- [17] *Virtuální brýle* [online]. 2010 [cit. 2010-02-16]. Dostupný z WWW: <<http://media.novinky.cz/091/140915-article-w3517.jpg>>.
- [18] *Pásový podvozek* [online]. 2009 [cit. 2010-02-11]. Dostupný z WWW: <<http://superdroidrobots.com/images/TP-210-001.jpg>>.
- [19] *Pásový podvozek 2* [online]. 2008 [cit. 2010-01-10]. Dostupný z WWW: <http://techzoogle.com/wp-content/uploads/2007/01/autonomous_solutions_chaos_robot.jpg>.
- [20] *Servisní robot* [online]. 2010 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.blogcdn.com/www.engadget.com/media/2007/02/irobot-packbot-510.jpg>>.
- [21] *Těsnící tmel* [online]. 2010 [cit. 2010-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://vitocom.cz/Udrzba/rhodorseal.htm>>.
- [22] *Elektropohony* [online]. 26. 4. 2010 [cit. 2010-03-22]. Dostupné z WWW: <www.epo.cz>.
- [23] *Motor pro otočné rameno* [online]. c2010 [cit. 2010-04-17]. Dostupné z WWW: <www.alliedmotion.com>.
- [24] *Lineární pohon* [online]. c2007 [cit. 2010-05-08]. Dostupné z WWW: <www.teatechnik.cz>.

- [25] *Zajišťování a těsnění šroubů* [online]. c2010 [cit. 2010-04-02]. Dostupné z WWW: < www.loctite.cz >.
- [26] *Brzda motoru pro otočné rameno* [online]. c2009 [cit. 2010-04-17]. Dostupné z WWW: < www.idicb.com/sprappbk/MPC.htm#top >.
- [27] *Model lineárního pohonu* [online]. c2010 [cit. 2010-03-28]. Dostupné z WWW: <www.tracepartsonline.net >.
- [28] *Planetová převodovka* [online]. c2002 [cit. 2010-03-29]. Dostupné z WWW: < www.apexdyna.com >.
- [29] *Elektrická baterie* [online]. c2010 [cit. 2010-02-12]. Dostupné z WWW: <www.heter.biz/en/product/detail.aspx?ID=97 >.
- [30] *Řídicí systém* [online]. c2010 [cit. 2010-04-03]. Dostupné z WWW: < http://eu.msi.com/index.php?func=downloaddetail&type=manual&maincat_no=388&prod_no=1758 >.
- [31] *Elektromagneticky ovládané ventily* [online]. c2009 [cit. 2010-03-13]. Dostupné z WWW: <2009.oc.smc-cee.com >.
- [32] *Šneková převodovka* [online]. c2009 [cit. 2010-03-13]. Dostupné z WWW: <www.varvel.com >.
- [33] *Hydraulický válec* [online]. 2010 [cit. 2010-02-27]. Dostupné z WWW: <www.heb-zyl.com/en/>.
- [34] *Schodolez* [online]. c2005 [cit. 2009-11-20]. Dostupné z WWW: <www.velcon.sk/create.php?content=schodolezT09§ion=produkty >.
- [35] *Schodolez pro přepravu předmětů* [online]. c2010 [cit. 2009-11-19]. Dostupné z WWW: < www.stehovanibezdriny.cz/stehovani-piana-trezory.php >.
- [36] *Mobilní robot* [online]. c2010 [cit. 2009-11-19]. Dostupné z WWW: <www.esit.com/mobileRobots-lma1.php >.
- [37] *Mobilní robot 2* [online]. c2007 [cit. 2009-11-19]. Dostupné z WWW: < http://defense-update.com/features/du-1-07/elbit_UGV.htm >.
- [38] *Tenkostěnné profily a plechy* [online]. 2010 [cit. 2010-02-12]. Dostupné z WWW: <www.ferona.cz >.
- [39] *Katalog ložisek SKF – modely ložisek, KM matic a MB podložek* [online]. c2010 [cit. 2010-03-19]. Dostupné z WWW: <www.skf.com >.

10. SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1. DÁLKOVÝ OVLADAČ A VIRTUÁLNÍ BRÝLE PRO ŘÍZENÍ MOBILNÍHO ROBOTA.....	13
OBR. 2. JEDNODUCHÁ KONSTRUKCE PÁSOVÉHO LOKOMOČNÍHO ÚSTROJÍ.....	16
OBR. 3. PÁSOVÝ SCHODOLEZ URČENÝ PRO PŘEPRAVU LIDÍ.....	19
OBR. 4. PÁSOVÝ SCHODOLEZ PRO PŘEPRAVU PŘEDMĚTŮ DO HMOTNOSTI 600 KG	20
OBR. 5. PÁSOVÝ PODVOZEK S PROMĚNNOU KINEMATIKOU RÁMU.....	20
OBR. 6. PÁSOVÝ PODVOZEK S PROMĚNNOU KINEMATIKOU PÁSU	21
OBR. 7. PÁSOVÉ PODVOZKY S PROMĚNNOU KINEMATIKOU RÁMU.....	21
OBR. 8. PÁSOVÉ PODVOZKY S PROMĚNNOU KINEMATIKOU RÁMU.....	21
OBR. 9. PÁSOVÝ PODVOZEK VYROBENÝ NA VŠB-TUO.....	22
OBR. 10. VARIANTA „A“ PÁSOVÉHO PODVOZKU.....	27
OBR. 11. VARIANTA „A“ SPODNÍ ČÁST PÁSOVÉHO PODVOZKU.....	27
OBR. 12. VARIANTA „A“ KINEMATICKÉ ANALÝZY PÁSOVÉHO PODVOZKU.....	28
OBR. 13. VARIANTA „B“ PÁSOVÉHO PODVOZKU.....	29
OBR. 14. VARIANTA „B“ SPODNÍ ČÁST PÁSOVÉHO PODVOZKU.....	30
OBR. 15. VARIANTA „B“ KINEMATICKÉ ANALÝZY PÁSOVÉHO PODVOZKU	30
OBR. 16. VARIANTA „C“ PÁSOVÉHO PODVOZKU.....	31
OBR. 17. VARIANTA „C“ SPODNÍ ČÁST PÁSOVÉHO PODVOZKU.....	32
OBR. 18. VARIANTA „C“ KINEMATICKÉ ANALÝZY PÁSOVÉHO PODVOZKU	33
OBR. 19. NAVRŽENÉ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ PÁSOVÉHO PODVOZKU	39
OBR. 20. RÁM PÁSOVÉHO PODVOZKU	40
OBR. 21. HLAVNÍ RÁM PÁSOVÉHO PODVOZKU	41
OBR. 23. ČEP SE ZÁVITEM	41
OBR. 22. VLOŽKA HNACÍHO NÁBOJE.....	41
OBR. 24. NADSTAVBOVÝ MODULÁRNÍ RÁM.....	43
OBR. 25. PŘÍPRAVA PRO DESKU MANIPULÁTORU	43
OBR. 26. DESKA MANIPULÁTORU	43
OBR. 27. HNACÍ POHON - ŘEZ	45
OBR. 28. POHON OTOČNÉHO RAMENE - ŘEZ.....	46
OBR. 29. HLAVNÍ RÁM S OTOČNÝMI RAMENY A POHONY.....	47
OBR. 30. SESTAVENÝ RÁM S LINEÁRNÍM POHONEM	47
OBR. 31. OTOČNÉ RAMENO	48
OBR. 32. ANALÝZA ZMĚNY DÉLKY RAMENE.....	49
OBR. 33. OTOČNÉ RAMENO - ŘEZ.....	50

OBR. 34.	OTOČNÉ RAMENO – HYDRAULICKÉ VEDENÍ	50
OBR. 35.	PODPĚRNÉ KOLO - ŘEZ	51
OBR. 36.	NAPÍNACÍ KOLO – ŘEZ.....	52
OBR. 37.	PÁS - 2400 MM.....	52
OBR. 38.	BOXY A ZDROJ V HLAVNÍM RÁMU.....	53
OBR. 39.	BOX PRO BUDIČE POHONŮ	54
OBR. 40.	48V ZDROJ.....	54
OBR. 41.	BOX A ŘÍDICÍ SYSTÉM V NADSTAVBOVÉM RÁMU.....	54
OBR. 42.	ŘÍDICÍ SYSTÉM	55
OBR. 43.	BOČNÍ KRYT.....	55
OBR. 44.	ZÁMEK KRYTU	56
OBR. 45.	ZADNÍ KRYT.....	56
OBR. 46.	PÁSOVÝ PODVOZEK S KRYTY.....	57
OBR. 47.	ROZSAH POHYBU OTOČNÉHO RAMENA	58
OBR. 48.	POHYB PO ROVNÉM TERÉNU A NAKLONĚNÉ ROVINĚ.....	59
OBR. 49.	SKOKOVÁ PŘEKÁŽKA.....	59
OBR. 50.	ROZFÁZOVANÝ POHYB PO SCHODIŠTI.....	60
OBR. 51.	PÁSOVÝ PODVOZEK S MANIPULAČNÍ NADSTAVBOU.....	61
OBR. 52.	PÁSOVÝ PODVOZEK S OSVĚTLENÍM.....	62
OBR. 53.	URČENÍ REAKCÍ.....	64
OBR. 54.	DIAGRAM SOUČINITELE ROTAČNÍCH ČÁSTÍ ϑ	65
OBR. 55.	URČENÍ REAKCÍ OTOČNÉHO RAMENE	69
OBR. 56.	URČENÍ REAKCÍ VÝKLOPNÉ ČÁSTI.....	72

11. SEZNAM TABULEK

TAB. 1	BODOVÉ HODNOCENÍ PRO JEDNOTLIVÁ KRITÉRIA	33
TAB. 2	KRITÉRIA ROZHODOVÁNÍ.....	34
TAB. 3	ZHODNOCENÍ KRITÉRIÍ	35
TAB. 4	METODA TROJÚHELNÍKU PÁRŮ	35
TAB. 5	INDEX ZMĚNY PARAMETRU A VÁŽENÉ INDEXY PRO VARIANTU A.....	36
TAB. 6	INDEX ZMĚNY PARAMETRU A VÁŽENÉ INDEXY PRO VARIANTU B.....	36
TAB. 7	INDEX ZMĚNY PARAMETRU A VÁŽENÉ INDEXY PRO VARIANTU C.....	37
TAB. 8	POŘADÍ JEDNOTLIVÝCH VARIANT.....	37

12. PŘÍLOHY

Seznam příloh:

- Příloha 1. Řízení pásového podvozku
- Příloha 2. Pevnostní analýza náboje
- Příloha 3. Výpočet čepu lineárního pohonu
- Příloha 4. Výpočet těsného pera
- Příloha 5. Výpočet pružiny
- Příloha 6. Výpočet montážního šroubu
- Příloha 7. Kontrolní výpočet navrhovaných ložisek
- Příloha 8. Katalogové listy
- Příloha 9. Výkresová dokumentace:
- ⇒ sestavný výkres pásový podvozek DP2010-STU160-01
 - ⇒ sestavný výkres hnací náboj DP2010-STU160-02
 - ⇒ sestavný výkres náboj kola DP2010-STU160-03
 - ⇒ sestavný výkres středové kolo DP2010-STU160-04
 - ⇒ sestavný výkres otočné rameno DP2010-STU160-05
 - ⇒ sestavný výkres deska manipulátoru DP2010-STU160-06
 - ⇒ výrobní výkres podpěrné kolo DP2010-STU160-07
- Příloha 10. CD „Diplomová práce 2010“
- ⇒ *Obsah CD:*
 - Výkresová dokumentace v AutoCADu
 - Diplomová práce.doc
 - Modely 3 variant v CAD systému Pro/Engineer
 - Model optimální varianty v CAD systému Pro/Engineer
 - Přílohy diplomové práce
 - Katalogy
 - Použité obrázky